



Facultad de Ingeniería

Trabajo de Investigación

**“Control de Trayectorias de Robot  
Articulado Utilizando Redes Neuronales.”**

Autores:

Torre Moreno, Michel Víctor - 1531610

Medina Ruiz, Jorge - 1531661

**Para obtener el Grado de Bachiller en:  
Ingeniería Mecatrónica**

Lima, Julio 2019

## **RESUMEN**

En el presente proyecto se explica un control de trayectorias de un robot articulado utilizando redes neuronales, donde el robot aplica una técnica de planeación de trayectorias en un espacio cartesiano y esto con el fin de generar el movimiento definido y es por eso que se diseñó un software para poder simular las articulaciones y visualizar los movimientos, y así se optó por utilizar un toolbox en Matlab que exclusivamente para el control de robots ya que esta librería brinda todo lo necesario para la simulación del robot articulado de 3 grados de libertad y el fácil aprendizaje que puede tomar por las muestras dadas en cada posición. El trabajo se enfocó en aplicaciones industriales como la soldadura, donde el operario puede indicarle algunas posiciones de los puntos donde debería soldar y así el robot a través de una red neuronal aprenda a soldar sin la supervisión externa.

### **DEDICATORIA**

En primer lugar, expresar mi gratitud a Dios, por haberme dado la oportunidad de haberme dado la vida, y permitirme llegar a esta fase de mi vida, a mi familia por el apoyo incondicional, a quienes nunca podre acabar de agradecer, y como no a mis amigos, ya que ellos están en las buenas y en las malas, ayudándome desinteresadamente en cumplir mis objetivos, esto es posible gracias a ustedes.

### **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Tecnológica del Perú, por la formación estudiantil, de igual manera a los diferentes docentes quienes han brindado sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante, más aún agradezco al Ing. Quispe Romero Robert, por brindarnos el apoyo así como también la guía continua en el desarrollo del trabajo, ya que sin los consejos y su conocimiento el proyecto no tendría un resultado significativo.

## Declaración de Autenticidad y No Plagio (Grado Académico de Bachiller)

Por el presente documento, yo Torre Moreno, Michel Víctor,  
identificado/a con DNI N° 47004444, egresado de la carrera de  
Ingeniería Mecatrónica,  
informo que he elaborado el Trabajo de Investigación denominado  
" Control de Trayectorias de robot articulado utilizando  
redes neuronales.

para optar por el Grado Académico de Bachiller en la carrera de  
Ingeniería Mecatrónica,  
declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por el/los autor/es que lo suscribe/n y afirmo  
que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo, dejo constancia de que las citas de otros autores han  
sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas  
por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos como en Internet.

Así mismo, afirmo que soy responsable solidario de todo su contenido y asumo, como autor, las  
consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento. Sé que este  
compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de  
incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la  
Universidad Tecnológica del Perú y a lo estipulado en el Reglamento de SUNEDU.

Lima, 11 de Junio de 2019.

  
.....  
(firma)

## Declaración de Autenticidad y No Plagio (Grado Académico de Bachiller)

Por el presente documento, yo Molina Ruiz, Jorge,  
identificado/a con DNI N° 70849148, egresado de la carrera de  
Ingeniería mecatrónica,  
informo que he elaborado el Trabajo de Investigación denominado  
" Control de trayectorias de robot articulado  
utilizando Redes neuronales  
" ,  
para optar por el Grado Académico de Bachiller en la carrera de  
Ingeniería mecatrónica,

declaro que este trabajo ha sido desarrollado íntegramente por el/los autor/es que lo suscribe/n y afirmo  
que no existe plagio de ninguna naturaleza. Así mismo, dejo constancia de que las citas de otros autores han  
sido debidamente identificadas en el trabajo, por lo que no se ha asumido como propias las ideas vertidas  
por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos como en Internet.

Así mismo, afirmo que soy responsable solidario de todo su contenido y asumo, como autor, las  
consecuencias ante cualquier falta, error u omisión de referencias en el documento. Sé que este  
compromiso de autenticidad y no plagio puede tener connotaciones éticas y legales. Por ello, en caso de  
incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la  
Universidad Tecnológica del Perú y a lo estipulado en el Reglamento de SUNEDU.

Lima, 31 de Junio de 2019.

  
.....  
(firma)

## INDICE

	Págs.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	2
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivo General	3
1.2.1 Objetivos Específicos	3
1.3 Alcances de la investigación	4
CAPITULO II	7
MARCO TEORICO	7
2.1 Estado del Arte	7
2.1.1 Antecedentes	7
2.2 Modelamiento	10
2.2.1 Materiales	10
2.2.2 Morfología del Robot.	10
2.2.3 Análisis control cinemático para el robot articulado.	11
2.2.4 Calculo en la cinemática para el robot.	12
2.2.5 Calculo en la dinámica para el robot	13
2.2.6 Actuador	13
2.2.7 Sensores	14
2.2.8 Modelo Biológico de la Neurona	15
2.2.9 Modelo de una Neurona Artificial	16
2.2.10 Estructura de una Red Neuronal Multicapa	17
2.2.11 Estructura mecánica de un robot de 3 grados de libertad	17
2.2.12 Modelo matemático usando teorema de Euler	18
2.2.13 Modelo matemático usando cinemática directa	23
2.2.14 Modelo matemático usando la matriz Jacobiana	25
2.2.15 Modelo matemático usando cinemática inversa	30
2.2.16 Modelamiento Eléctrico para el control del motor	32
2.2.17 Modelamiento de Redes Neuronales	33
2.3 Modelamiento de Parámetros	36
CAPITULO III	38
PLANTEAMINETO DE LA SOLUCION	38
3.1 Diagrama de Bloques	38

<b>3.2</b>	<b>Diagrama Pictorico</b>	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>Diagrama de Flujo</b>	<b>39</b>
<b>3.4</b>	<b>Diseño Mecánico</b>	<b>41</b>
3.4.1	Modelo Cinemático Directo de la Estructura	41
3.4.2	Condiciones Iniciales de la Base	47
3.4.3	Condiciones iniciales parte del cuerpo	47
3.4.4	Condiciones iniciales de parte de estructura de hombro y codo	48
3.4.5	Condiciones iniciales de parte de estructura de brazo	49
<b>3.5</b>	<b>Diseño Electrónico</b>	<b>50</b>
3.5.1	Selección del microcontrolador	51
3.5.2	Selección del Driver	51
3.5.3	Selección de Acelerómetro	52
<b>3.6</b>	<b>Diseño Eléctrico</b>	<b>53</b>
3.6.1	Selección del motor para la base	53
3.6.2	Selección del motor para el cuerpo	54
3.6.3	Selección del motor para el hombro y codo	55
3.6.4	Selección del motor para el brazo	56
<b>3.7</b>	<b>Diseño de Software</b>	<b>57</b>
3.7.1	Programa Control de Motores	58
3.7.2	Programa para el control de trayectorias por medio de redes Neuronales	58
<b>3.8</b>	<b>Costos y Presupuesto</b>	<b>59</b>
<b>CAPITULO IV</b>		<b>61</b>
<b>ANALISIS DE RESULTADOS</b>		<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Condiciones de Ensayo</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Pruebas de Funcionamiento</b>	<b>62</b>
4.2.1	Prueba de medición de voltaje del motor en la base	62
4.2.2	Pruebas de mediciones de voltaje del segundo motor del codo	63
4.2.3	Pruebas de medición de voltaje del tercer motor en el brazo	65
4.2.4	Prueba de tiempo de desplazamiento y posicionamiento	66
4.2.5	Análisis de los resultados obtenidos	68
<b>4.3</b>	<b>Eficiencia del sistema implementado</b>	<b>70</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>		<b>72</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>76</b>
<b>Anexo</b>		<b>80</b>



## INDICE DE FIGURAS

	págs.
Figura 1. Prototipo de Robot Articulado de 3GL	11
Figura 2. Control Cinemático	12
Figura 3. Cinemática del Robot	12
Figura 4. Dinámica del Robot	13
Figura 5. Modelo de Neurona Biológica	16
Figura 6. Modelo de Neurona Artificial	16
Figura 7. Red Neuronal Multicapa	17
Figura 8. Robots Antropomórficos	18
Figura 9. Posición	19
Figura 10. Orientación	19
Figura 11. Rotación Eje Z	20
Figura 12. Rotación Eje X	20
Figura 13. Rotación Eje Y	21
Figura 14. Metodología Denavit – Hartenberg	24
Figura 15. Modelo de una Capa	33
Figura 16. Modelo de una Neurona	34
Figura 17. Funciones de Transferencia	35
Figura 18. Reglas de Aprendizaje	35
Figura 19. Diagrama de Bloques	38
Figura 20. Diagrama Pictórico	39
Figura 21. Diagrama de Flujo	40
Figura 22. Robot Articulado 3GL	42
Figura 23. Aplicando Denavit Hartenberg	42
Figura 24. Estructura de la base del robot	47
Figura 25. Estructura del cuerpo del robot	48
Figura 26. Estructura del hombro y codo del robot	49
Figura 27. Estructura del Brazo del Robot	50
Figura 28. Instalación Arduino Uno	51
Figura 29. Instalación Modulo del Driver Puente H L298N	52
Figura 30. Instalación Sensor Acelerómetro	53
Figura 31. Programa MikroC de Control Motores	58
Figura 32. Programa Matlab Redes Neuronales	59
Figura 33. Prototipo Completo	61
Figura 34. Prueba Tensión 1ra Articulación	62
Figura 35. Prueba de Tensión 2da Articulación	64
Figura 36. Prueba de Tensión 3ra Articulación	65
Figura 37. Pruebas Desplazamiento y Posicionamiento	67
Figura 38. Comportamiento de la Articulación	68
Figura 39. Comportamiento de la Articulación 2	69
Figura 40. Comportamiento de la Articulación 3	69
Figura 41. Tabla de Eficiencia del Robot	70
Figura 42. Tabla Comparación con otros Robots	71

## INDICE DE TABLAS

	págs.
Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Actuador Eléctrico	14
Tabla 2. Tipos de sensores Internos	14
Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Encoder	15
Tabla 4. Tabla de Parámetros	36
Tabla 5. Parámetros Denavit - Hartenberg	42
Tabla 6. Parámetros reales que tendrá el prototipo en su espacio de trabajo	43
Tabla 7. Parámetros Denavit-Hartenberg primera articulación	44
Tabla 8. Parámetros Denavit - Hartenberg segunda articulación	45
Tabla 9. Parámetros Denavit - Hartenberg Tercera Articulación	46
Tabla 10. Características Arduino Uno	51
Tabla 11. Especificaciones Técnicas L298N	52
Tabla 12. Costos y Presupuesto	60
Tabla 13. Medición Voltaje 1er Motor	63
Tabla 14. Medición Voltaje 2do Motor	65
Tabla 15. Medición de Voltaje 3er Motor	66
Tabla 16. Pruebas Movimientos	67
Tabla 17. Posicionamiento respecto a sus Ejes	68

## **INTRODUCCION**

A través de los años las redes neuronales se han utilizado para resolver una gran variedad de tareas, como el reconocimiento de imágenes, objetos, voz. Si bien la mayoría de estas se realizan en software, la importancia también está en la implementación del hardware donde se puede aprovechar al máximo las ventajas propias de las redes neuronales. El objetivo es diseñar un programa donde se indiquen los puntos de la trayectoria por los que debe pasar y al programar el robot realizara las tareas utilizando una estructura de datos interpretable, por otra parte para la conducta del robot este se ve forzada a realizar tres factores: el prototipo del robot (Hardware), el controlador o microcontrolador (Software) y el entorno de trabajo. Por lo tanto, el mismo robot con un parecido programa en el control se comportará de manera diferente en un entorno diferente, además el robot debe ser altamente dinámico con usual variación en la posición de objetos u obstáculos relevantes y debido a las diferentes dominios en los materiales las lecturas sensoriales pueden verse forzadas a realizar un congruente cambio en la conducta del robot, por todo ello, en el presente trabajo se realiza el modelamiento y diseño de un robot articulado con 3GL para el control de trayectorias con redes neuronales.

## **CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

La robótica en la actualidad está integrada al entorno moderno en los sistemas automatizados de producción donde se utilizan robots manipuladores en actividades comerciales e industriales para maniobrar o tener a disposición una variedad de productos. Por otro lado en el área de robots móviles tienen otro método de funcionamiento como evasor de obstáculos, seguidores de línea y móviles exploradores; a estos robots se les exige una mayor demanda por su alta complejidad en su sistema de funcionamiento dado que se utilizan en métodos de investigación donde el hombre no llega con facilidad ya sea lugares desconocidos o espacios reducidos, es por eso que los robots móviles cuenta con un costo elevado en el mercado actual donde la competencia es cada vez más exigente. Por esta razón, se obliga a reducir al máximo el costo de tiempo de operación, para ello se plantea el diseño de un robot articulado utilizando redes neuronales, con el objetivo de minimizar tiempos, ya sea en procesos de manufactura; así como soldadura, pintura, manipulación de materiales,

montaje mecánico. Tomando en cuenta el atraso tecnológico en el país en ese aspecto, es fundamental promover el desarrollo de prototipos didácticos y tecnológicos para dar solución a esta problemática.

En los procesos de manufactura en muchas empresas de nuestro país, todavía continúan con la forma tradicional el cual genera desorganización, inseguridad laboral, finalmente todo ello trae como consecuencia pérdida económica para la empresa; enfatizando, que el problema común de las grandes industrias sea la producción, puesto que cada año se presentan reportes de fallas en la instrumentación de los robots, se busca dar solución al retraso de producción a través de nuevos sistemas, implementando un robot articulado que utilice redes neuronales para lograr mejorar la calidad en producción y reducir los errores en los procesos de producción.

## **1.2 Objetivo General**

Diseñar un sistema de control de trayectorias de robot articulado utilizando redes neuronales

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

- Diseñar estructura mecánica del robot articulado con 3 Grados de libertad.
- Diseñar el sistema eléctrico del robot articulado.
- Diseñar la interfaz que enlaza al robot articulado con la PC.
- Diseñar la Red Neuronal para el control de trayectorias utilizando el software Matlab.

### **1.3 Alcances de la investigación**

El alcance del trabajo de investigación es diseñar el control de trayectorias de un robot articulado utilizando redes neuronales que tiene distintos aspectos; como la accesibilidad de cambiar el gripper para soldadura, pintado y la corte, la primera articulación será rotacional en 360° grados, la segunda articulación será prismática de 60° grados, Utilizará redes neuronales con el software MATLAB, para el control de trayectorias se empleara en el software una red backpropagation para que se efectué un óptimo proceso en el robot y Limitación de desplazamiento afectado por la fuerza y el grado articulación.

Por otro lado, el desarrollo de presentado se justifica en: El impacto económico, donde la demanda de los robots ha ido creciendo en los últimos años en el Perú lo cual se ha hecho para las industrias más accesible poder obtener estas máquinas, así como también el aporte que brindan los robots con el nivel de producción que desempeña al realizar una tarea. Al adquirir el prototipo que se va a realizar, cuyas partes la componen de materiales en su estructura de acrílico, 3 motores DC con encoder, programa de redes neuronales, con un accesible precio en el mercado, lo cual esta máquina brindara un óptimo desempeño, mayor producción en turnos establecidos así generando mayores ingresos en la empresa.

El Impacto Social, donde en la industria existen diferentes trabajos a realizar que influyen de esfuerzo físico o de forma repetitiva, expuesto a contaminantes, para estos trabajos se puede emplear un robot de 3GDL programado para realizar trayectorias que tiene la capacidad de adaptarse a cualquier tarea que realiza un operario como en un trabajo de traslado de

carga pesada, empleando un autómata se desempeña en la tarea, pero al doble de carga, sin ningún problema y así el proyecto da un aporte para la sociedad.

Impacto Tecnológico, en cada año va avanzando la tecnología, donde los robots se hacen más sofisticados en su programación y la tarea que va a realizar, así las universidades e institutos tiene el interés en desarrollar la tecnología que se emplea hacia las carreras como electrónica, mecánica, mecatrónica en programar y ensamblar un robot. El proyecto da un aporte de control con redes neuronales lo cual se empleara para el control de trayectorias con un modelo directo usando el software matlab, empleando un algoritmo para el programa que utilizara una red MLP (MultiLayer Perceptron) para que la neurona aprenda, así como también diseñar un interfaz para que el robot realice una actividad óptimamente. Así las instituciones lleguen adquirir el prototipo que brinda un aporte en el diseño del programa para que los estudiantes ensamblen y controlen un robot en un espacio determinado.

Impacto Ambiental, en la sociedad no tomaban el interés de que las grandes industrias generan contaminación al adquirir robots robustos, es donde salió la idea de realizar un prototipo que contengan componentes menos contaminantes como los materiales, el ruido, es por eso que se utilizaran algunos materiales que son como el acrílico (Termoplástico rígido ) usada en la parte de la estructura ya que es resistente, en la parte del ruido se emplearan 3 motores DC con encoder con una batería de alimentación, así también en el proceso de programación con el uso de la PC, ahora los cables de señales informáticas tiene aislamiento y mayor rigidez, lo cual para un

técnico no influye en la salud al estar controlando el autómata con los componentes que conforman el prototipo.



## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Estado del Arte**

##### **2.1.1 Antecedentes**

La robotica en un principio busca el mejoramiento de su desplazamiento hacia sus objetivos, disminuir la dificultad del algoritmo en el calculo de trayectorias en un ambiente con obstaculos. La solucion planteada es utilizar un robot con traccion diferencial programada atravez de lenguaje C++, donde su algoritmo principal realiza los calculos matematicos para definir la trayectoria mas pequeña donde se desplazara el robot (Gutierrez, 2012). Ademias, el proposito de la robotica es crear robots autonomos de alto nivel para evitar la intervencion de las personas, puesto que los robots podran desempeñarse en areas impenetrables por las personas ya sea por riesgo, lejania o simplemente de alguna actividad incomoda. El objetivo del robot es que tenga la habilidad de realizar algunas funciones en un determinado lugar y el reconocimiento de su area a traves de sensores. La solucion planteada es utilizar la planeacion de trayectorias

con algoritmos simples donde se escogera un procedimiento adecuado para el reconocimiento de su propio entorno de trabajo (Yadun, 2011).

Los robots son considerados como manipuladores industriales que realizan un gran número de tareas y funciones en diferentes entornos laborales. Esto genera un mayor crecimiento en el uso de los robots, reemplazando al hombre en múltiples tipos de trabajo físico. Los robots se clasifican por sistemas de coordenadas dadas por la configuración del brazo y por el volumen geométrico del trabajo, existen cuatro tipos fundamentales: Cartesiano el brazo del robot se mueve de modo rectilíneo en direcciones de las coordenadas (x, y, z), Cilíndrico el brazo del robot tiene una articulación de revoluta y dos prismáticas, Esférico o Polar el brazo del robot cambia su configuración moviendo sus dos articulaciones de revoluta y su articulación prismática, Articulado o de Revoluta el brazo del robot contiene eslabones conectados por articulaciones de revoluta (Barrientos, 2007).

También existe el análisis geométrico, basado en los movimientos que realiza el robot articulado, que logra una trayectoria mínima a través de la planeación de trayectorias. La planeación de movimientos de un robot articulado es generar una función matemática en donde se moverá un robot. Para lograr tener un mejor control y coordinación se debe tener en consideración que hay tipos de planeación de las trayectorias son las siguientes: Las trayectorias punto a punto, según Barrientos (2007) En este tipo de trayectorias cada articulación se desarrolla desde su posicionamiento inicial a la final sin ejecutar algún cuidado sobre el aspecto en el que se encuentra el robot, pero Subir Kumar Saha (2008) afirma que el manipulador tiene que desplazarse desde la forma inicial que tiene la articulación hasta

su posición final dentro de un tiempo definido. Los autores nos indican que la trayectoria del robot tendrá un inicio y un final sin importar el área donde se desplace. Las trayectorias coordinadas, según Craig (2010) Para eludir los movimientos forzados por las articulaciones se minimizan las velocidades para lograr que los movimientos sean más sincronizados al momento de terminar un proceso. Así los movimientos de la articulación son más lentos para evitar que algunos actuadores trabajen forzosamente, evitando así que se estropee la articulación del robot. Las trayectorias continuas normalmente se trabajan en planos cartesianos con sus respectivos ejes (x; y; z), formando trayectorias en línea recta o en arco de círculo, que son descritas por un sistema de coordenadas y previamente realizadas a través de un modelo matemático.

En el libro de Flores menciona que las Redes Neuronales se asemeja a un cerebro por el aprendizaje que desarrolla la neurona con la extracción de datos que realizar al ejecutar una tarea ya que estas se ejecutan con el ordenador para así entrenar a la red y logre con éxito aprender así obtenemos semejanzas el cerebro con una pc en el rapidez del proceso que lo hace en fracciones de segundos, como el almacenamiento de conocimientos en uno es variable y en otra para denominada tarea, o el tipo de control de proceso. Una red neuronal simple está compuesta entradas (x), pesos (w), la función signo, salida (y).

Por otro lado, Ruiz comenta sobre inteligencia artificial principalmente por una Red Neuronal y sus ventajas ya que permite aplicar en diferentes áreas aprendizaje optimo se desenvuelve en un aprendizaje inicial ya que ellos mismo denominas sus valores para el aprendizaje tener una

arquitectura ideal, Auto-organización la red más empleada backpropagation esta red se desarrolla de la salida en retroceso así puedes dar la solución a problemas engorrosos, tolerancia a fallos Red Neuronal tiene la habilidad de reconocer variable con ruido e incompletos así como su capacidad de almacenamiento y permiten recuperar datos del algoritmos, operación en tiempo real gracias a la implementación paralela la red neuronal logra ejecutar tareas con facilidad de inclusión dentro de una tecnología existente que se utiliza un hardware óptimo para que así la red tenga un mejora continua y logre aprender.

## **2.2 Modelamiento**

### **2.2.1 Materiales**

Para la implementación y diseño del control de trayectorias del robot articulado utilizando redes neuronales se utiliza: acrílico, motores dc, encoders, arandelas, tornillos, microswitch, fuente regulable de 24v, resistencias, condensadores, driver l298, cable apareado. Además del software; Inventor, Matlab, MikroC, los cuales nos permitirán realizar la programación y el diseño del prototipo.

### **2.2.2 Morfología del Robot.**

Para el diseño de un robot articulado se considera las características y las necesidades que tendrá para el usuario. Es por tanto imprescindible realizar un estudio de las actividades rutinarias que realizara el robot, con el fin de diseñar un mecanismo que cumpla con las necesidades para su entorno de trabajo, así observamos en la Figura 1 como será el prototipo.



Figura 1. Prototipo de Robot Articulado de 3GL  
Fuente: Lizcano, R. y otros (2005) ilustración robot 3GL

### 2.2.3 Análisis control cinemático para el robot articulado.

En el control cinemático se establecerá las trayectorias que debe seguir cada articulación del robot. Estas trayectorias se seleccionarán entendiendo las limitaciones físicas propias de las articulaciones y así lograr obtener una mayor suavidad en los movimientos o precisión de la misma, de este modo se observa en la Figura 2 un modelo de control cinemático.

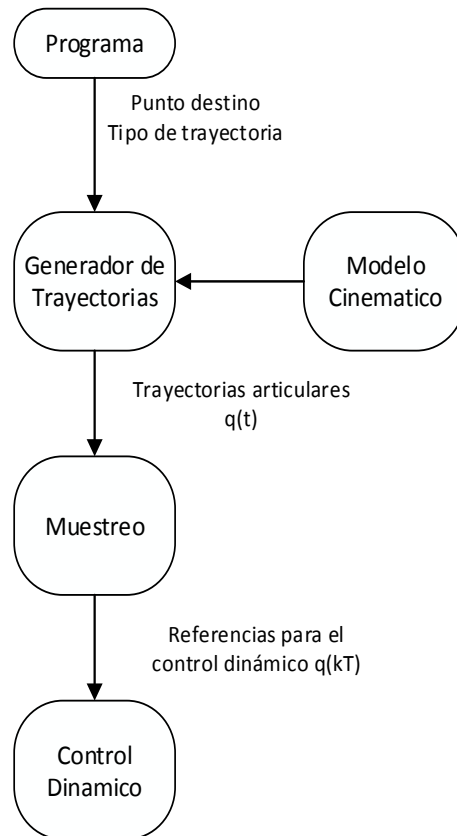


Figura 2. Control Cinemático

Fuente: Barrientos, A (2007) Ilustración del Funcionamiento del control cinemático

#### 2.2.4 Cálculo en la cinemática para el robot.

La cinemática directa de un robot estudia las relaciones entre la posición y orientación cartesiana, es decir, que busca la velocidad, posición, aceleración y otras derivadas, con relación al tiempo o cualquier otra variable como se observa en la Figura 3.

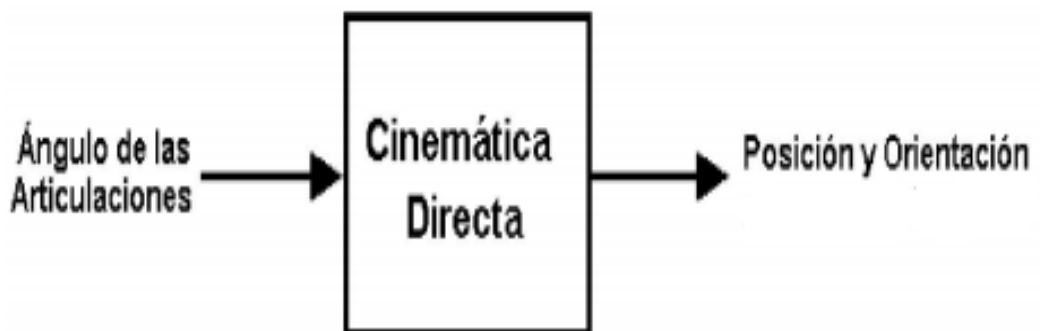


Figura 3. Cinemática del Robot

Fuente: Miranda, R. (2016) Ilustración cinemática Directa

### 2.2.5 Cálculo en la dinámica para el robot

En la dinámica directa de un robot se determina conocer la relación entre el movimiento y las fuerzas exteriores que serán aplicadas como se observa en la Figura 4.

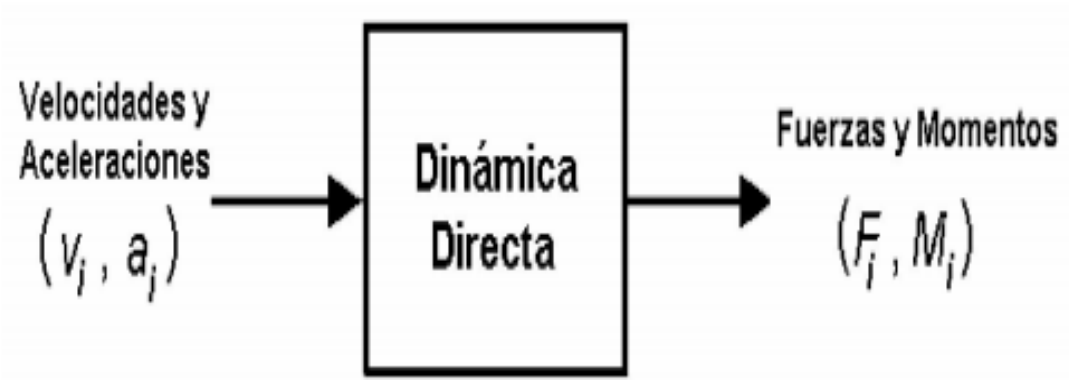


Figura 4. Dinámica del Robot

Fuente: Miranda, R. (2016) Ilustración Dinámica Directa

### 2.2.6 Actuador

La función del actuador es entregar movimiento al robot para establecer los movimientos, como el rendimiento, torque y la velocidad del brazo. Es por ello que es necesario tener el conocimiento de la fuente que se va utilizar ya que esto permitirá escoger el tipo de actuador para el prototipo donde se evaluara el peso, precisión, velocidad, potencia, costo, etc. De acuerdo al tipo de energía se utilizara:

#### 2.2.6.1 Eléctricos

Son sistemas que generan fuerza mecánica a partir de la energía eléctrica, la cual poseen una ventaja que es la de control, donde se tiene 3 tipos que son de corriente continua, alterna y paso a paso.

Los motores DC, su funcionamiento es mediante un movimiento continuo del rotor al conectarse un voltaje, en estos motores se tiene el principio de que los polos iguales se repelen y los polos opuestos se

atraen, es decir que la corriente circula por una bobina produciendo un campo magnético en el centro de ella, donde a su vez alrededor de la bobina se encuentra un campo magnético fijo producido por los imanes permanentes o electroimanes ubicados en el estator del motor, para la conmutación se utilizan unos carbones que están en continuo contacto con el conmutador de la bobina. Además, existen otras configuraciones mecánicas que permiten a los motores de corriente continua trabajar con diferentes características. En la tabla 1, se apreciara ventajas y desventajas del actuador eléctrico.

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de Actuador Eléctrico

<b>Actuador Eléctrico</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
	Fácil control Silencioso Preciso	Potencia limitada Mayor peso

Fuente: Elaborado por los autores

### 2.2.7 Sensores

Son dispositivos que ante magnitudes físicas o químicas, estos sensores transforman la variación de propiedades en variables eléctricas. Cabe resaltar que forman una retroalimentación para el control de trayectoria del robot ya que es un lazo cerrado. De acuerdo al tipo de robot se utilizara:

#### 2.2.7.1 Sensores Internos

Para lograr un control trayectoria de alta precisión, velocidad e inteligencia; es necesario saber el entorno donde va a realizar su trabajo. En la tabla 2 se observa los tipos de sensores internos que existen

Tabla 2. Tipos de sensores Internos

<b>Sensores internos de robots</b>		
<b>Posición</b>	<b>Analógicos</b>	Potenciómetros Resolver Inductancia



		Sincro
	<b>Digitales</b>	Encoders Encoders Absolutos Incrementales

Fuente: Elaborado por los Autores

El Encoder, es un codificador que permite captar el movimiento mecánico con distintos tipos de impulsos eléctricos y convertirlos en códigos digitales con el objetivo de reconocer la posición angular del eje y así tener un código digital constante. En la siguiente tabla 3, se apreciara las ventajas y desventajas del encoder.

Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Encoder

<b>Encoders</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
	La posición y punto de inicio puede ser definido por el operador. Brinda mayor funcionalidad. Lleva registro de movimiento.	Costoso. Especifica un solo código de ángulo. Robusto.

Fuente: Elaborado por los Autores

### 2.2.8 Modelo Biológico de la Neurona

El modelo de las redes neuronales artificiales está inspirada en la estructura y funcionamiento de los sistemas nerviosos, donde la neurona es el elemento fundamental. Donde la neurona está conformada por un cuerpo celular, en el cuerpo de la célula salen ramificaciones que son conocidas como las dendritas y sale una fibra larga conocida como axón. Además ellas se conectan entre sí, que se conoce con el nombre de sinapsis como se observa en la Figura 5.

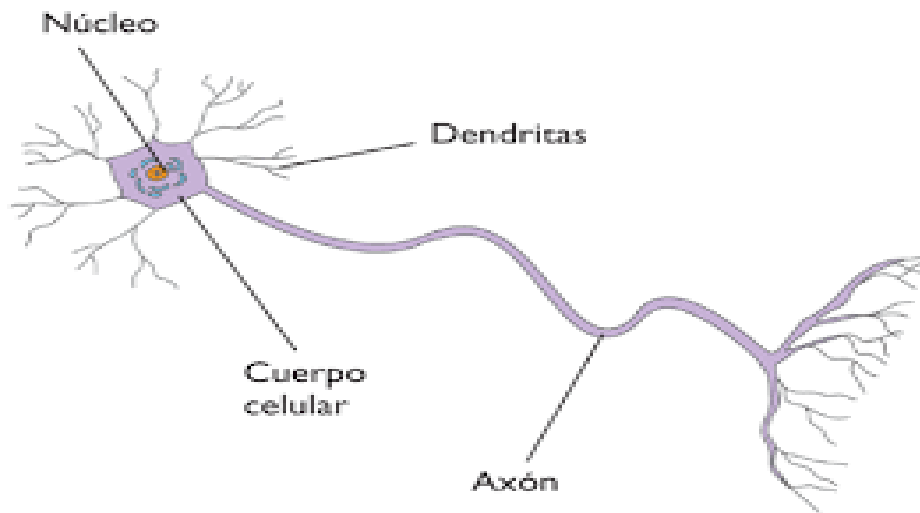


Figura 5. Modelo de Neurona Biológica  
Fuente: Martín del Brío, B (2006) Ilustración Neurona Biológica

### 2.2.9 Modelo de una Neurona Artificial

La neurona artificial es un modelo que intenta reproducir el comportamiento de una neurona biológica. La neurona artificial tiene diversas entradas, ya sea externa o de otra neurona, donde se combina y produce una salida. En la Figura 6 se observa que cuenta con pesos que será la forma de aprender de la neurona, donde estos pesos se irán modificando para adaptar el valor de la salida y así reducir el error con respecto a la salida real.

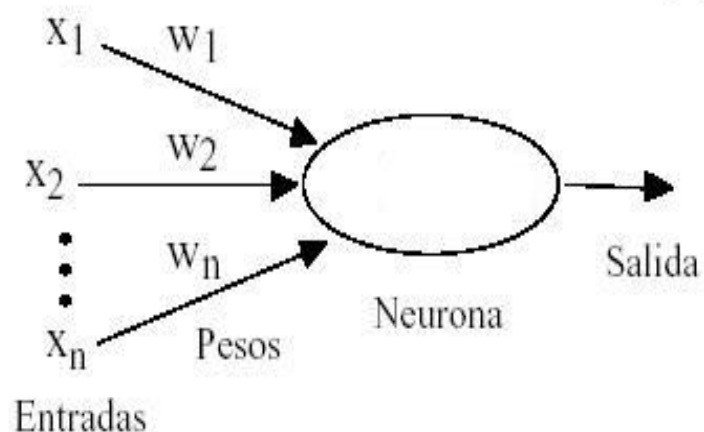


Figura 6. Modelo de Neurona Artificial  
Fuente: Martín del Brío, B (2006) Ilustración Neurona Artificial

### 2.2.10 Estructura de una Red Neuronal Multicapa

Una red neuronal multicapa debe contar con una función de activación, para poder aproximar cualquier función que se desee. Según sea necesario se añadirá un número determinado de neuronas o capas. Además la red neuronal contara con 3 capas que son: capa de entrada; esta capa es donde recibe directamente la información, capa oculta; la capa esta interconectada con la capa de entrada junto con el número que se le determine, capa de salida; esta capa transfiere toda la información adquirida en la red hacia el exterior como se observa en la Figura 7.

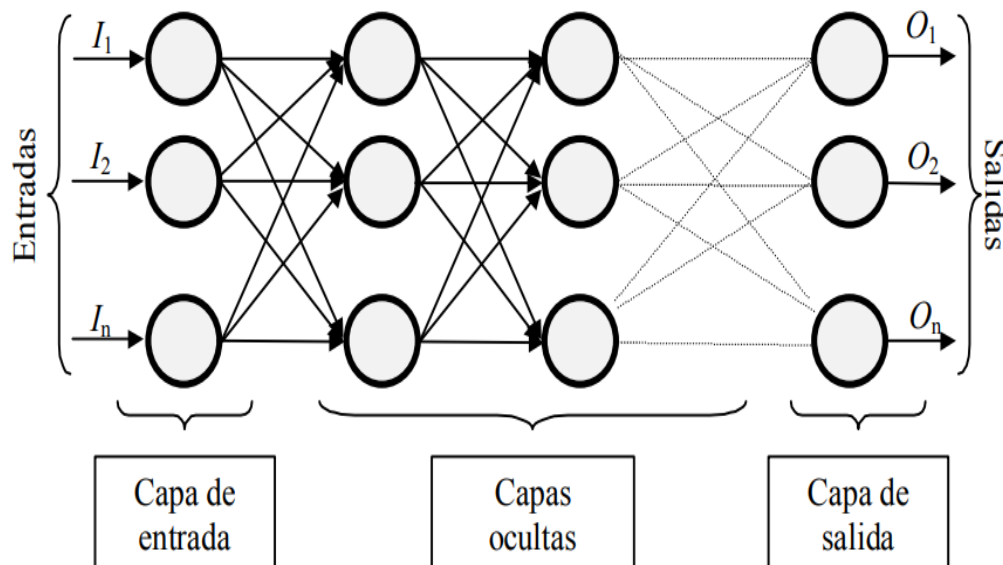


Figura 7. Red Neuronal Multicapa

Fuente: Berzal, Fernando (2018) Ilustración Red Neuronal Multicapa

### 2.2.11 Estructura mecánica de un robot de 3 grados de libertad

El robot está compuesto por articulaciones las cuales varían por los grados de libertad que le pueden brindar, lo cual una articulación posee como mínimo 1 GDL con movimientos independientes.

Mencionaremos a 5 movimientos usados en un robot antropomórfico: Esférica o rotulado (3GDL), Universal (2GDL), Prismática (1GDL), Rotación

(1GDL) y Cilíndrica (2GDL), se observara en la Figura 8 los robots antropomórficos.

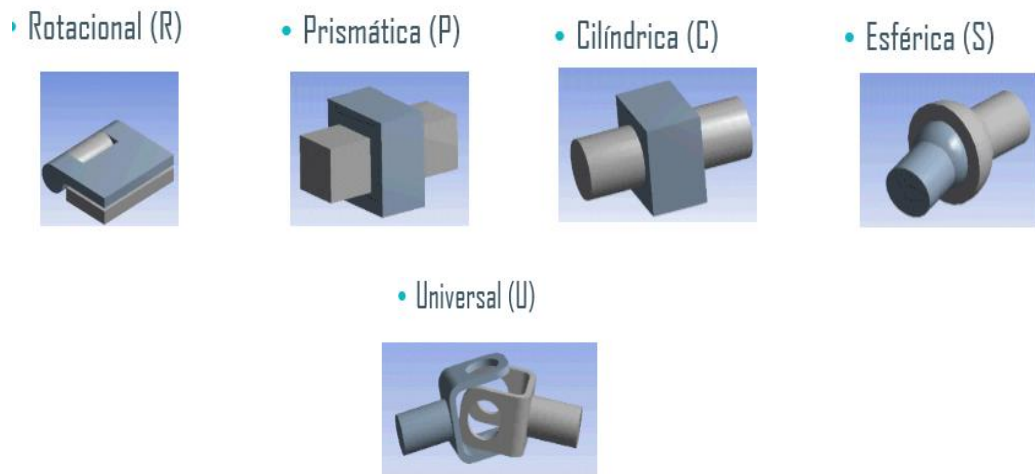


Figura 8. Robots Antropomórficos

Fuente: Lizcano, R. y otros (2005) ilustración Robots Antropomórficos

## 2.2.12 Modelo matemático usando teorema de Euler

### 2.2.12.1 Posición

La posición de un punto con respecto a un eje de referencia puede ser descrita como un vector de posición 3x1 como en la Figura 9.

$$A_p = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$A_p$ = Posición con respecto a un eje de referencia

$p_x$ = Posición con respecto a eje x

$p_y$ = Posición con respecto a eje y

$p_z$ = Posición con respecto a eje z

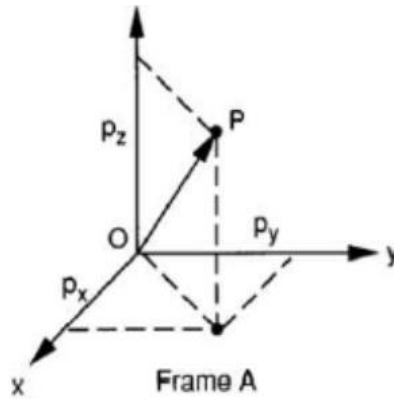


Figura 9. Posición

Fuente: Barrientos, A (2007) Ilustración Posición Euler

### 2.2.12.2 Orientación

Plasmada en un espacio tridimensional, está establecido por 3GDL, linealmente independiente como en la Figura 10.

$$R_{(\alpha,\beta,\gamma)} = \begin{bmatrix} U_x & V_x & w_x \\ U_y & V_y & w_y \\ U_z & V_z & v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$(\alpha,\beta,\gamma)$ = Ángulos que permiten describir la orientación de un sólido en representación mínima.

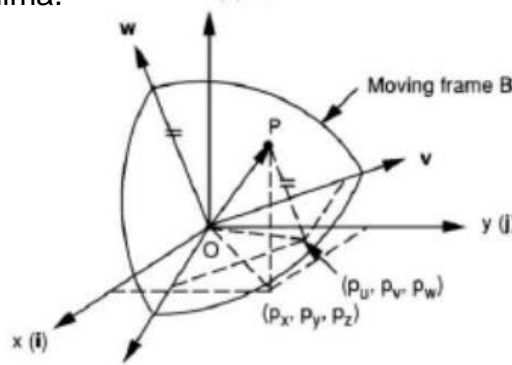


Figura 10. Orientación

Fuente: Barrientos, A (2007) Ilustración Orientación Euler

### 2.2.12.3 Rotación con respecto al eje z

Realiza la rotación en  $\alpha$  usando como eje de giro al eje Z como en la Figura 11.

$$R_{z,\alpha} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 1 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$R_z$ , = Matriz de giro entorno al eje z de un ángulo  $\alpha$

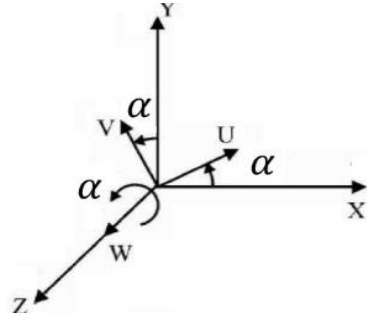


Figura 11. Rotación Eje Z

Fuente: Barrientos, A (2007) Ilustración Rotación Eje Z

#### 2.2.12.4 Rotación con respecto al eje x

Realiza la rotación en  $\beta$  usando como eje de giro al eje X

como se observa en la Figura12.

$$R_{x,\beta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & \cos\beta & -\sin\beta \\ 0 & \sin\beta & \cos\beta \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$R_x$ , = Matriz de giro entorno al eje x de un ángulo  $\beta$

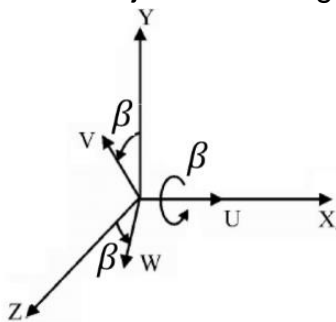


Figura 12. Rotación Eje X

Fuente: Barrientos, A (2007) Ilustración Rotación Eje X

#### 2.2.12.5 Rotación con respecto al eje Y

Realiza la rotación en Y usando como eje de giro al eje Y como

en la Figura 13.

$$R_{y,\gamma} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & \sin\gamma \\ \sin\gamma & 1 & 1 \\ -\sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$R_y$ , = Matriz de giro entorno al eje  $y$  de un ángulo  $\gamma$

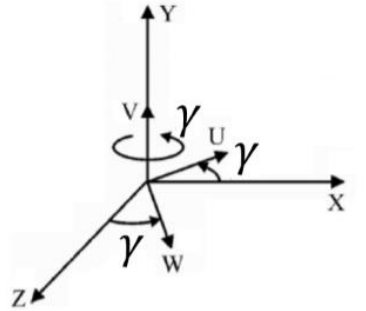


Figura 13. Rotación Eje Y

Fuente: Barrientos, A (2007) Ilustración Rotación Eje Y

#### 2.2.12.6 Ángulo de Euler ZXZ

Esta es la primera representación en el ángulo de Euler, que también es conocido como giroscopios que equivalen a ZXZ, las cuales son las rotaciones mencionadas  $R_{z,\alpha} \cdot R_{x,\beta} \cdot R_{z,\gamma}$ .

$$R_{(\alpha,\beta,\gamma)} = R_{z,\alpha} \cdot R_{x,\beta} \cdot R_{z,\gamma} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$(\alpha,\beta,\gamma)$ = Ángulos que permiten describir la orientación de un sólido en representación mínima

$R_z$ , = matriz de giro entorno al eje  $z$  de un ángulo  $\alpha$

$R_x$ , = matriz de giro entorno al eje  $x$  de un ángulo  $\beta$

$R_z$ , = matriz de giro entorno al eje  $z$  de un ángulo  $\gamma$

#### 2.2.12.7 Ángulo de Euler ZYZ

Esta es la segunda representación de ángulo de Euler, donde los ejes están ubicados en ZYZ, lo cual cuando se emplea en robots de

modelo ABB, tienen rotaciones alrededor de  $R_{z,\alpha} \cdot R_{y,\beta} \cdot R_{z,\gamma}$  que son adecuados para sistema fijo y móvil.

$$R_{(\alpha,\beta,\gamma)} = R_{z,\alpha} \cdot R_{y,\beta} \cdot R_{z,\gamma} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$(\alpha,\beta,\gamma)$ = Ángulos que permiten describir la orientación de un sólido en representación mínima

$R_z$ , = Matriz de giro entorno al eje z de un ángulo  $\alpha$

$R_y$ , = Matriz de giro entorno al eje y de un ángulo  $\beta$

$R_z$ , = Matriz de giro entorno al eje z de un ángulo  $\gamma$

#### 2.2.12.8 Ángulo de Euler Roll Pitch Yaw

Esta es la tercera representación de ángulo de Euler, que contribuye en parte con la aeronáutica, lo cual se ganó las iniciales RPY que significa Roll Pitch Yaw, las cuales tienen rotaciones  $R_{z,\alpha} \cdot R_{y,\beta} \cdot R_{z,\gamma}$  que son adecuadas para un sistema fijo.

$$R_{(\alpha,\beta,\gamma)} = R_{z,\alpha} \cdot R_{y,\beta} \cdot R_{z,\gamma} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$(\alpha,\beta,\gamma)$ = ángulos que permiten describir la orientación de un sólido en representación mínima

$R_z$ , = matriz de giro entorno al eje z de un ángulo  $\alpha$

$R_z$ , = matriz de giro entorno al eje z de un ángulo  $\beta$

$R_z$ , = matriz de giro entorno al eje z de un ángulo  $\gamma$

Matriz general de cambio de orientación a partir de los tres ángulos  $(\alpha)$

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha\cos\gamma - \sin\alpha\sin\gamma\cos\beta & -\sin\gamma\cos\alpha - \sin\alpha\cos\gamma\cos\beta & \sin\alpha\sin\beta \\ \sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\gamma\cos\beta & -\sin\gamma\sin\alpha + \cos\alpha\cos\gamma\cos\beta & -\sin\beta\cos\alpha \\ \sin\beta\sin\gamma & \sin\beta\cos\gamma & \cos\beta \end{bmatrix}$$



Matriz de cambio de orientación

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 9}$$

$$\sin\beta = \sqrt{r_{31}^2 + r_{32}^2}$$



$$\cos\beta = r_{33}$$

$$\alpha = \text{Atan2}(r_{31} - r_{23})$$

$$\beta = \text{Atan2}(\sqrt{r_{31}^2 + r_{32}^2}, r_{33}) \quad \text{Ec. 10}$$

$$\gamma = \text{Atan2}(r_{31} - r_{32})$$

Donde:

$\sin\beta$  = Se Utiliza para hallar el rango de soluciones en los 4 cuadrantes

$\cos\beta$  = Se Utiliza para hallar el rango de soluciones en los 4 cuadrantes

$(\alpha)$ = ángulo que permiten describir la orientación de un solido

$(\beta)$ = ángulo que permiten describir la orientación de un solido

$(\gamma)$ = ángulo que permiten describir la orientación de un solido

Matriz de transformación homogénea:

$$M_T = \begin{bmatrix} R_{(3X3)} & T_{(3X1)} \\ 0_{(1X3)} & 1_{(1X1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde:

$M_T$  =Se muestra en la matriz la posición y orientación, agrupada de un sistema de coordenadas.

### 2.2.13 Modelo matemático usando cinemática directa

Es una herramienta matemática que nos permite describir la estructura cinemática de una cadena constituida, los cuales tienen como referencias un punto en el plano y ejes ortonormales como en la Figura 14.

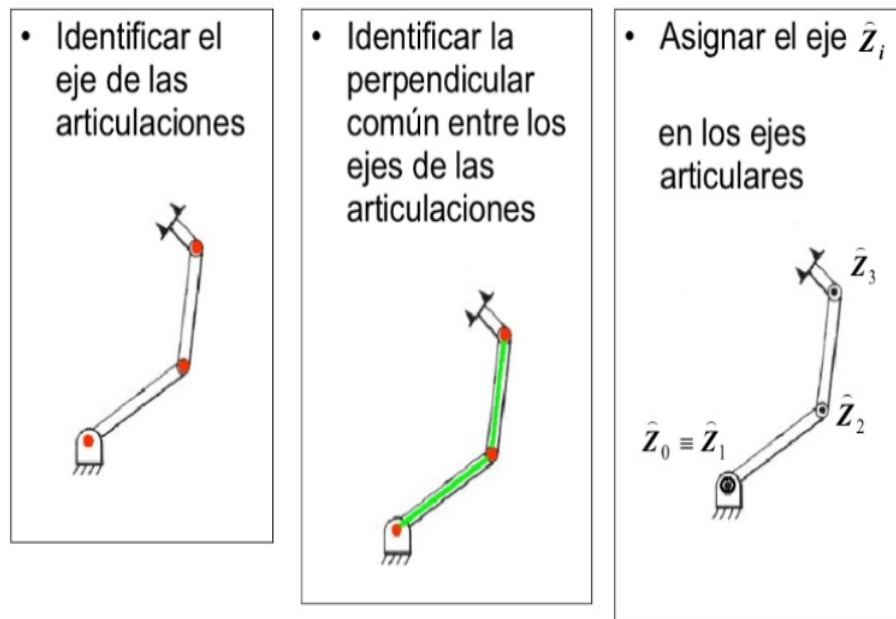


Figura 14. Metodología Denavit – Hartenberg

Fuente: Carvajal J. (2010) Ilustración de Metodología Denavit – Hartenberg

Es una matriz homogénea donde  ${}^{i-1}_A$  nos demuestra la posición y orientación correspondiente con sistemas agrupados a dos eslabones seguidos del robot.

$${}^{i-1}_A = T(z, d)T(z, \theta)T(x, a)T(x, \alpha). \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

${}^{i-1}_A$  = matriz que describe de cómo está la referencia 1 respecto a  $i - 1$  a

medida que gira la articulación

$T(z, \theta)$  = matriz homogénea que describe rotación en entorno eje z con ángulo  $\theta$

$T(x, \alpha)$  = matriz homogénea que describe rotación en entorno eje x con ángulo  $\alpha$

$T(x, a)$  = matriz homogénea que describe translación en entorno eje x con ángulo  $a$

$T(z, d)$ = matriz homogénea que describe translación en entorno eje z con ángulo  $d$

$$T_{(z,\theta)} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{(x,\alpha)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i & 0 \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{(x,a)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{(z,d)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz general:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\sin\theta_i & \alpha_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\cos\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & \alpha_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

${}^{i-1}A_i$  = matriz general que describe de cómo está la referencia 1 respecto a medida que gira la articulación

#### 2.2.14 Modelo matemático usando la matriz Jacobiana

La matriz jacobiana esta formada por las derivadas parciales donde su principal interes es encontrar la relacion de las articulaciones con las posiones (modelo cinematico directo). Sus objetivos puntuales son: permite estudiar puntualmente y sencillamente las partes mecanicas del robot, define la relacion entre los pares y fuerzas que estan presentes en cada articulacion y principalmente fuerzas en el extremo, controla

movimientos en un determinado espacio y no hace falta aplicar la cinemática inversa y da solución de la matriz que se interpreta mediante la diferenciación cinemático directo.

Hay una relacion (V m/s) articular y (w rad/s) de un extremo :

$$\begin{bmatrix} V \\ w \end{bmatrix} \Leftrightarrow q_1$$

Donde:

$q_1$  = Articulacion

V = Velocidad lineal m/s

w = Velocidad angular rad/se

Asi tambien existe otra relacion con las magnitudes ejercidas por el extremo operativo del robot:

$$\begin{bmatrix} f \\ n \end{bmatrix} \Leftrightarrow T_i$$

Como podemos notar las dos relaciones mencionadas nos brinda un operador lineal matricial (jacobiano), donde la función vectorial multivariable es el equivalente a la operación derivar de las funciones de una variable.

$$J_f(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_1(x)}{\partial x_n} \\ \frac{\partial F_2(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2(x)}{\partial x_2} & & \frac{\partial F_2(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_m(x)}{\partial x_1} & \frac{\partial F_m(x)}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial F_m(x)}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad \text{Ec.13}$$

#### 2.2.14.1 Velocidades lineales

Está basado principalmente con la variación de la posición en una sola dirección con un tiempo establecido

$$Vp = (q) \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

$V_p$  = Vector de velocidad de un punto p (puede ser el efector final o una junta en específico).

$q$  = Vector de coordenadas de los grados de libertad.

$q'$  = Vector de derivadas, respecto del tiempo, de las coordenadas de los grados de libertad.

$J_p$  = Matriz Jacobiana del robot para el punto p.

#### 2.2.14.2 Velocidades angulares

Está basada en la rotación de un sólido con la variación de posición  $w$ , así tener la unión de dos puntos con un tiempo establecido.

$$w_p = R_p^T J_w(q) \dot{q} \quad \text{E c.15}$$

Donde:

$w_p$  = Vector de velocidad angular del eslabón p).

$R_p$  = matriz rotacional del eslabón p respecto de la base del robot

$q$  = Vector de coordenadas de los grados de libertad.

$q'$  = Vector de derivadas, respecto del tiempo, de las coordenadas de los grados de libertad.

$J_w$  = Matriz Jacobiana, del movimiento angular del eslabón p del robot.

#### 2.2.14.3 Momentos de inercia

$$I = \begin{bmatrix} \int (y^2 + z^2) dm & -\int xy dm & -\int xz dm \\ -\int xy dm & \int (x^2 + z^2) dm & -\int yz dm \\ -\int xz dm & -\int yz dm & \int (y^2 + z^2) dm \end{bmatrix} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

$I$  = Matriz general de momentos de inercias en el espacio

Básicamente para hallar momentos de inercia influye directamente con la geometría de eslabones:

$$I = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} \\ I_{21} & I_{22} & I_{23} \\ I_{31} & I_{32} & I_{33} \end{bmatrix} \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

I= Matriz de cambio de orientación de inercia

#### 2.2.14.4 Construcción del jacobino

En esta construcción busca básicamente de un modelo cinemático tener una semejanza entre las variables articuladas y la posición, con esta relación no influyen las fuerzas sobre el robot.

Principalmente la matriz jacobiana nos muestra matricialmente a conocer las (v) de un extremo del robot eso mediante los valores de (v) hacia las articulaciones que a continuación se harán en los pasos siguientes:

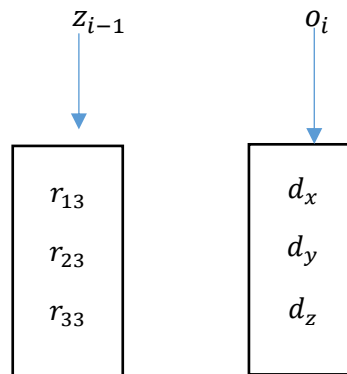
$$J = [J_1, \dots, J_n] \text{ donde } n \text{ es la cantidad de juntas y } \vec{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J_i = \begin{bmatrix} z_{i-1} \\ \vec{0} \end{bmatrix} \quad \text{si la junta es prismática}$$

$$J_i = \begin{bmatrix} z_{i-1} x(o_n - o_{i-1}) \\ z_{i-1} \end{bmatrix} \quad \text{si se junta es rotacional}$$

$$T_0^i = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & d_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & d_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Una junta rotacional



$$T_0^1 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^2 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & 0 & -\sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & 0 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & q_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

$T_0^1$  = Matriz que describe de cómo está la referencia 0 respecto a 1 a medida que gira la articulación

$T_0^2$  = Matriz que describe de cómo está la referencia 0 respecto a 2 a medida que gira la articulación.

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & 0 & -\sin q_1 & -q_3 \sin q_1 \\ \sin q_1 & 0 & \cos q_1 & q_3 \cos q_1 \\ 0 & -1 & 0 & q_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \boxed{Z_2 = \begin{bmatrix} -\sin q_1 \\ \cos q_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad O_3 = \begin{bmatrix} -q_3 \sin q_1 \\ q_3 \cos q_1 \\ q_2 + d_1 \end{bmatrix}}$$

Ec.19

Donde:

$T_0^3$  = Matriz que describe de cómo está la referencia 0 respecto a 1 a medida que gira la articulación.

$$\vec{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad O_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} (q_2 + d_1) \cos q_1 & -\sin q_1 & -\sin q_1 \\ (q_2 + d_1) \sin q_1 & \cos q_1 & \cos q_1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$J = \begin{bmatrix} j_v \\ j_w \end{bmatrix}$ 

Movimientos lineales

Movimientos rotacionales

$$J_v = \begin{bmatrix} (q_2+d_1)\cos q_1 & -\sin q_1 & -\sin q_1 \\ (q_2+d_1)\sin q_1 & \cos q_1 & \cos q_1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad J_w = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

J= Matriz general que describe dos velocidades las cuales son lineales y angulares con respecto a los vectores de articulación.

$$v_p = \begin{bmatrix} (q_2+d_1)\cos q_1 & -\sin q_1 & -\sin q_1 \\ (q_2+d_1)\sin q_1 & \cos q_1 & \cos q_1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} \quad \text{Ec.21}$$

Donde:

$V_p$ = Vector de velocidad de un punto p (puede ser el efector final o una junta en específico).

### 2.2.15 Modelo matemático usando cinemática inversa

Básicamente con el modelo dinámico de un robot nos muestra a entender la que hay entre movimiento del brazo articulada con las fuerzas que son ejercidas al desplazarse se relaciona matemáticamente así como variables articuladas y sus derivadas en sus magnitudes de (velocidad, aceleración), Fuerzas y los momentos aplicados a las articulaciones. Además este modelo matemático es usado para la complejidad de los cálculos de un robot de 3GL a más.

#### 2.2.15.1 Obtención del Modelo Dinámico

##### 2.2.15.1.1 Formulación Lagrange – Euler

Se trata del equilibrio de energía que permite entender la dinámica del robot, considerando su almacenamiento de energía potencial y cinética.



$$\text{Lagrangiano } L(q, \dot{q}) = T(q, \dot{q}) - U(q) \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

$L(q, \dot{q})$  = Lagrangiano depende de la posición y la velocidad.

$T(q, \dot{q})$  = Energía cinética depende de la posición y la velocidad.

$U(q)$  = Energía potencial depende de la posición.

$q$  = Representa las coordenadas generalizadas.

### **2.2.15.1.2 Energía Cinética**

Respecto al movimiento de un cuerpo en estado rígido.

$$T = \frac{1}{2} M \|\dot{x}\|^2 \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

$T$  = Energía cinética

$M$  = Masa kg

$\dot{x}$  = Módulo de la velocidad

### **2.2.15.1.3 Energía Potencial**

Respecto a la posición de un cuerpo en estado rígido.

$$U = mgh \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

$U$  = Energía potencial

$m$  = Masa kg

$g$  = Gravedad m/s

$h$  = Altura m

#### 2.2.15.1.4 Formulación Newton – Euler

Se enfoca en el equilibrio de fuerzas y momentos, así teniendo ecuaciones que nos demuestran su movimiento (Lineal, angular) en cada eslabón o articulación del robot.

Newton

Euler

$$\sum F = m v' \quad \sum T = I w' + w x(I w) \quad \text{Ec. 25}$$

#### 2.2.16 Modelamiento Eléctrico para el control del motor

##### 2.2.16.1 Selección del motor para la estructura

Para seleccionar el motor de la estructura del robot articulado se tiene que hallar el momento torsión que se requiere para movilizar toda la carga aplicada a la estructura y multiplicado por la distancia total del punto de partida al punto final del brazo del robot como se muestra en la siguiente ecuación 27:

$$t = A_y \times d \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

T = momento torsión e torque del motor. (N\*m)

$A_y$  = fuerza o carga máxima que se somete

d = distancia total del brazo del robot

##### 2.2.16.2 Calculo la velocidad por articulación

Para lograr una velocidad de la articulación se debe desplazar de 0.2 m/s se calcula según el avance que es de 0.002 m/rev con estos datos determinamos la velocidad requerida para cada articulación.

$$RPM = \frac{\text{Velocidad}}{\text{avance}} \quad \text{Ec.27}$$

Donde:

RPM = velocidad de entrada

Velocidad = velocidad articulación

Avance = avance

Calculando la potencia del motor requerido para la articulación realizando una velocidad constante se obtiene de la siguiente ecuación.

$$HP = \frac{RPM \times t}{63,000} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

RPM = velocidad requerida.

T = torque del motor.

HP = Potencia del motor

## 2.2.17 Modelamiento de Redes Neuronales

### 2.2.17.1 Modelo de una Capa

Para el modelo de una capa dentro de la red neuronal se puede apreciar en la figura 15, donde las neuronas están agrupadas por capa por lo que cada capa es un conjunto de neuronas.

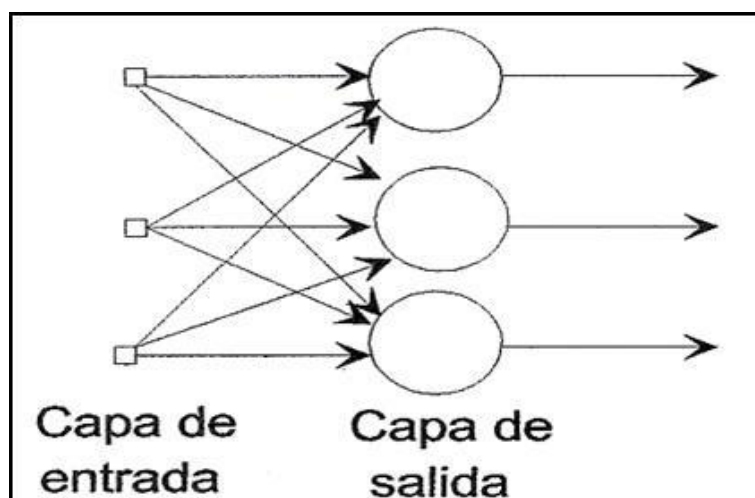


Figura 15. Modelo de una Capa  
Fuente: Moctezuma, E. (2006) Ilustración Neural Network

### 2.2.17.2 Modelo de una Neurona

Para el modelo de una neurona en la figura 16 se puede observar cómo está representado en la ecuación 30.

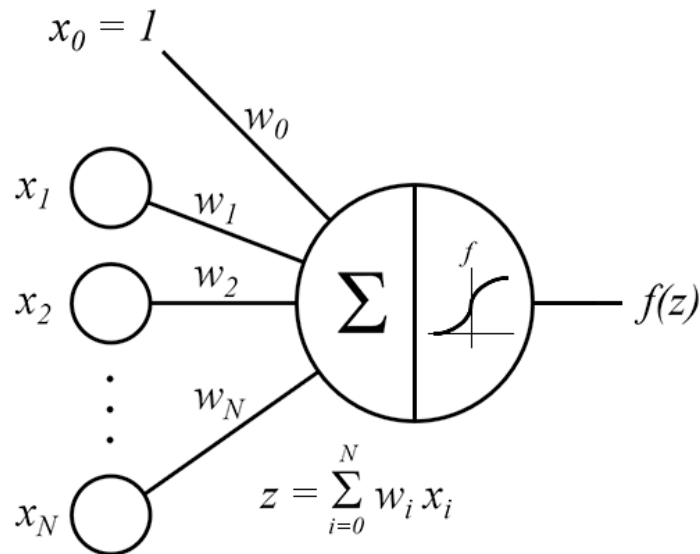


Figura 16. Modelo de una Neurona  
Fuente: Moctezuma, E. (2006) Ilustración Neural Network

La ecuación de la neurona es:

$$f(z) = x_0 \cdot w_0 + x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_N \cdot w_N \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

$w_0, w_1, w_2, \dots, w_N$  = Pesos de las Neuronas

$x_0, x_1, x_2, \dots, x_N$  = Valores de las entradas

$f(z)$  = Salida

### 2.2.17.3 Función de Transferencia

En la figura 17 se observa las principales funciones de transferencia de una red neuronal artificial

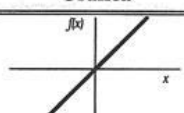
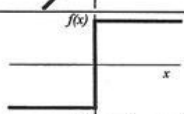
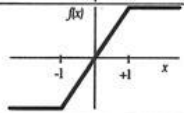
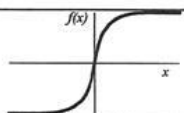
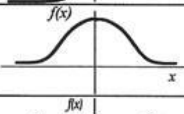

	Función	Rango	Gráfica
<b>Identidad</b>	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
<b>Escalón</b>	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
<b>Lineal a tramos</b>	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -l \\ x, & \text{si } -l \leq x \leq +l \\ +1, & \text{si } x > +l \end{cases}$	$[-1, +1]$	
<b>Sigmoidea</b>	$y = \frac{1}{1+e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
<b>Gaussiana</b>	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
<b>Sinusoidal</b>	$y = A \sin(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

Figura 17. Funciones de Transferencia  
Fuente: Moctezuma, E. (2006) Ilustración Neural Network

#### 2.2.17.4 Regla de Aprendizaje del Perceptron Simple

En la figura 18 se observa las reglas de aprendizaje del Perceptron simple y a su vez está representado por la ecuación 31.

<i>Learning function</i>	<i>Underlying taxonomy element(s)</i>	<i>Game design pattern class</i>
Encoding	Kolb's concept of abstract conceptualisation	Information related game design patterns
Comparison	Kolb's concept of reflective observation	Information related game design patterns
Repetition	Heinich's design of drill and practise, Keller's concept of confidence	Meta game patterns, e.g., replayability (11, 23, 8), and randomness (as enabler for meaningful replayability)
Interpreting	Robinson's pedagogical goal of encouraging multiple perspectives	Goals patterns, e.g., Gain Information (7, 21, 1)
Exemplifying	Robinson's pedagogical goal of developing multiple modes of representation, as well as the encouraging of multiple perspectives.	Game elements patterns, e.g., levels (1, 24, 0)

Figura 18. Reglas de Aprendizaje  
Fuente: Moctezuma, E. (2006) Ilustración Neural Network

La ecuación del Perceptron simple es:

$$w_j = w_i + e(t_i) * x_j \quad \text{Ec. 30}$$

Donde:

$w_j$  = Peso Nuevo

$w_i$  = Peso Actual

$e$  = Factor de aprendizaje

$t_i$  = Valor que debe aprender

$x_j$  = Entrada

## 2.3 Modelamiento de Parámetros

En la tabla 4 se muestra los parámetros utilizados

Tabla 4. Tabla de Parámetros

Símbolo	Descripción	Unidad
$A_p$	Posición con respecto a un eje	mm
$R_{(x,y,z)}$	Matriz de giro	Rad.
$v$	Velocidad Lineal	m/s
$w$	Velocidad Angular	Rad/s
$V_p$	Vector de velocidad de un punto	m/s
HP	Potencia de Motor	W
$q$	Vector de coordenadas Grados libertad	
$J_p$	Matriz jacobiana para un punto	
$q'$	Vector derivada respecto al tiempo	s
$W_p$	Velocidad angular del eslabón	Rad/s
$I$	Matriz general del momento de inercia	$cm^4$
$L$	Lagrangiano	cte
$T$	Energía Cinética	Joule
$U$	Energía Potencial	J
$M$	masa	kg
$x^2$	Módulo de la Velocidad	$m/s^2$
$g$	Gravedad	m/s

h	Altura	m
t	torque	N.m
d	distancia	m
RPM	Revoluciones por minuto de base	1/rev
$A_y$	Calculo de la Fuerza	N

Fuente: Elaborada por los Autores

## CAPITULO III

### PLANTEAMINETO DE LA SOLUCION

#### 3.1 Diagrama de Bloques

En la figura 19 se observa el funcionamiento del proyecto mediante diagrama de bloques, como se ve en el programa se traza la trayectoria para enviar al controlador, para así mandar señal al sistema de potencia (motores), para realizar el movimiento del brazo articulado.

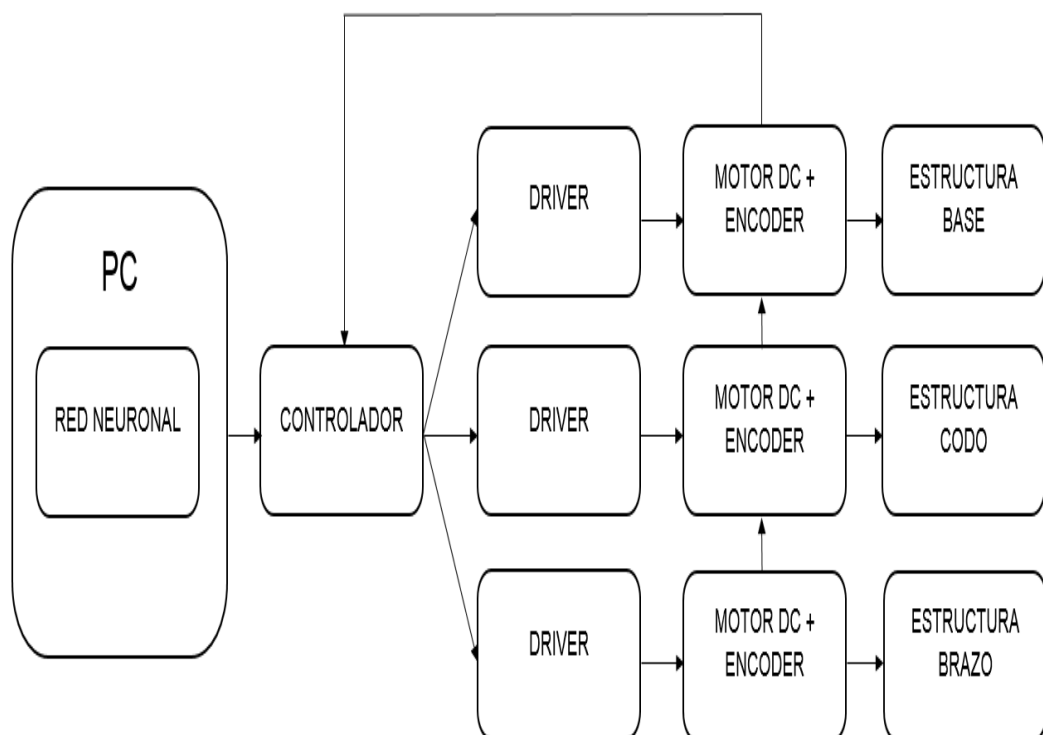


Figura 19. Diagrama de Bloques  
Fuente: Elaborada por los Autores



### 3.2 Diagrama Pictorico

En la figura 20 se observa el funcionamiento del robot, en primer lugar, el controlador manda una señal al driver para accionar a los motores, el software comenzara entrenar a su red neuronal para darle movimiento al robot.

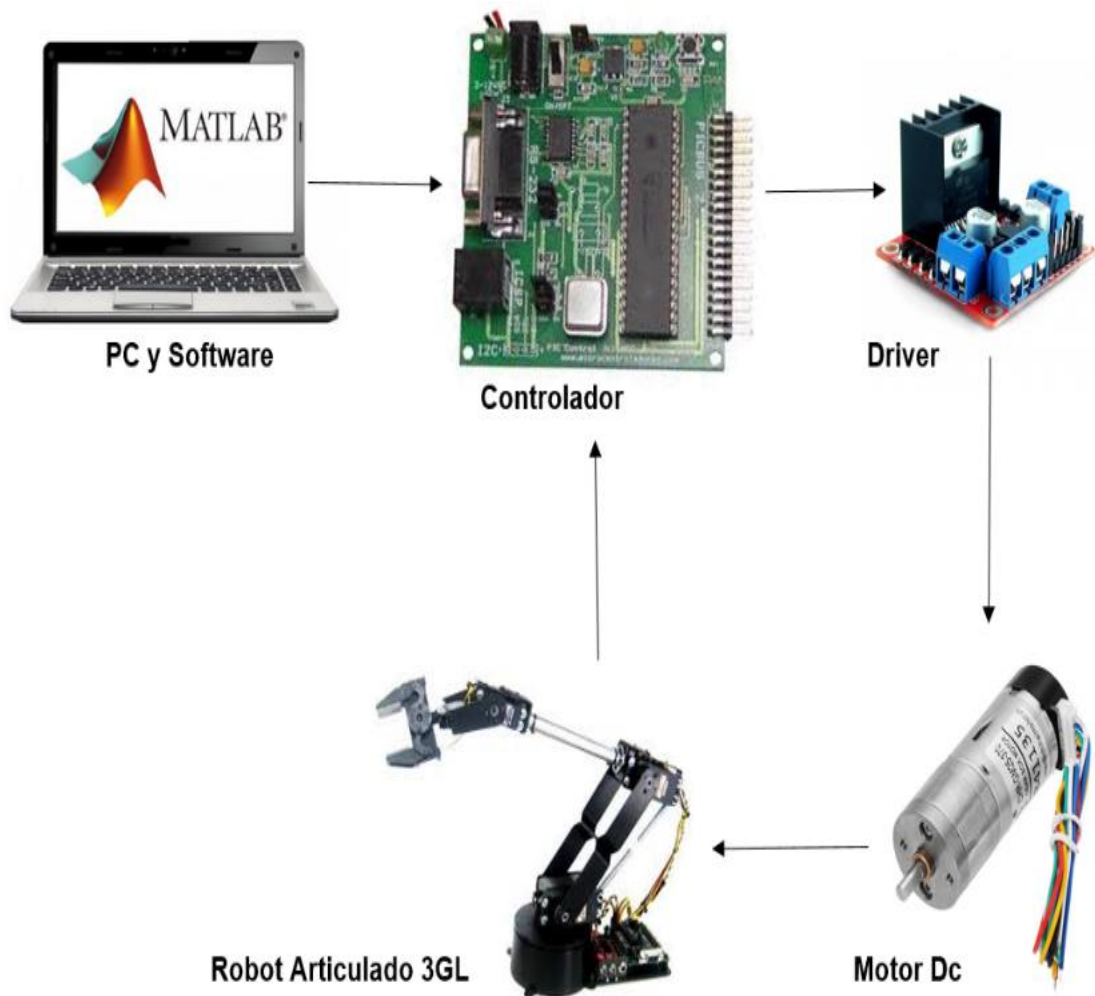


Figura 20. Diagrama Pictorico  
Fuente: Elaborada por los Autores

### 3.3 Diagrama de Flujo

En la figura 21 , se observa el diagrma de flujo el funcionamiento del control de trayectorias del robot articulado

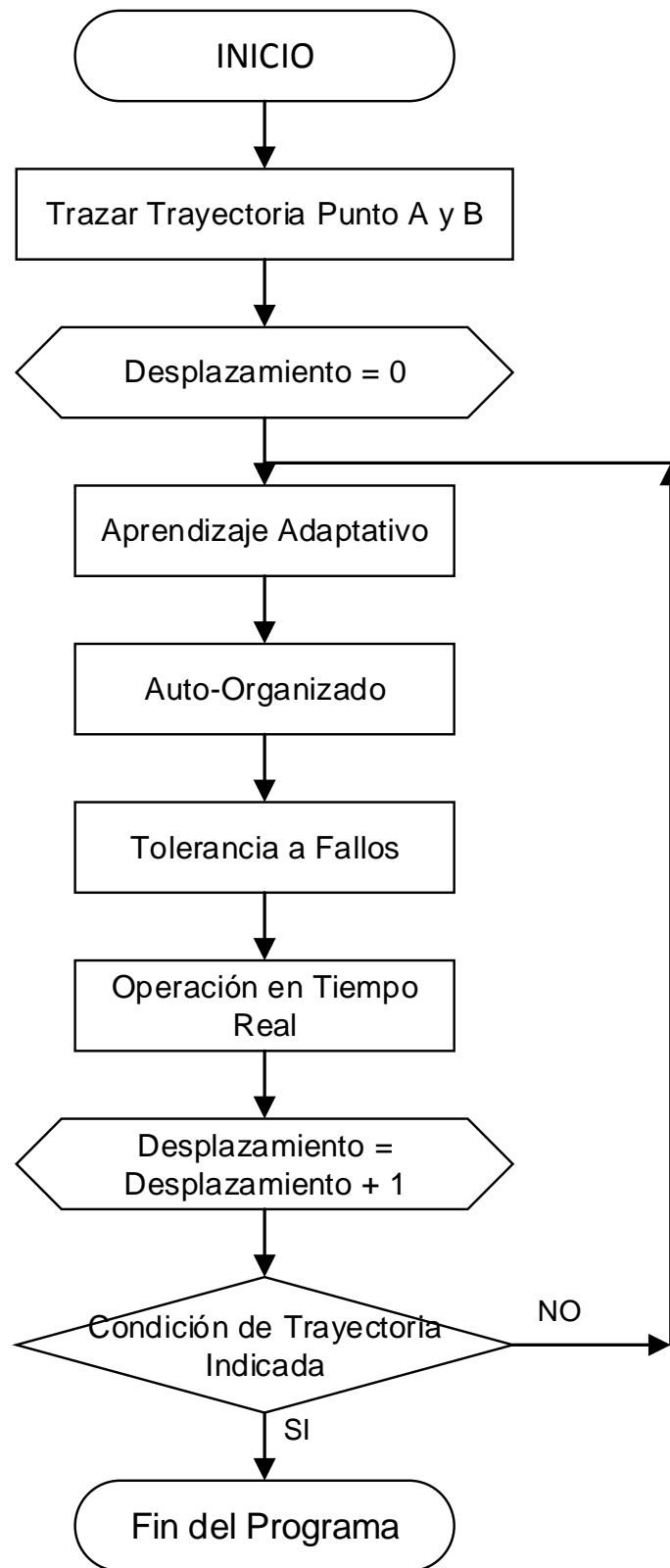


Figura 21. Diagrama de Flujo  
Fuente: Elaborada por los Autores

### 3.4 Diseño Mecánico

Con el pasar de los años la tecnología ha ido avanzando y se han podido fabricar robots con materiales rígidos y de bajos costos en el mercado lo cual este prototipo se ha diseñado con materiales accesible en el costo para poderlos adquirir fácilmente. Al diseñar el trabajo se parte de un modelo de robot existente realizando el diseño del prototipo semejante así lo cual se usaron materiales como una plancha metálica e 2 mm en la parte de la base para el apoyo de las dos articulaciones que son el codo, brazo. Así también el material de PVC de 5mm para las articulaciones del codo y brazo para que este ligero en acoplar los motores en cada eslabón de la parte superior, tener un movimiento sin dificultad al realizar la trayectoria, en las uniones de cada articulación se usó una varilla roscada de 5mm de diámetro con tuercas y arandelas para darle la presión en cada articulación del prototipo, así tenga una posición y rigidez al efectuar cada movimiento. El objetivo principal del diseño del robot es realiza un trayectoria de un punto establecido a otro en el espacio para eso se utilizaron estos materiales en la estructura así brindándole que el robot sea capaz de movilizarse con la mayor facilidad posible en un espacio determinado.

#### 3.4.1 Modelo Cinemático Directo de la Estructura

Para plantear el modelo cinemático directo, se aplicara Denavit Hartenberg, para hallar movimientos de translación, rotación en el brazo robótico de 3 grados de libertad donde tendremos unos parámetros como en la tabla 5. Se adjunta la figura 22 y 23 que es un esquema de colocación de los ejes y parámetros de D - H donde las cuatro representaciones,  $d_i$ ,  $a_i$ ,  $\alpha_i$  son los datos asociados con el eslabón y la articulación.

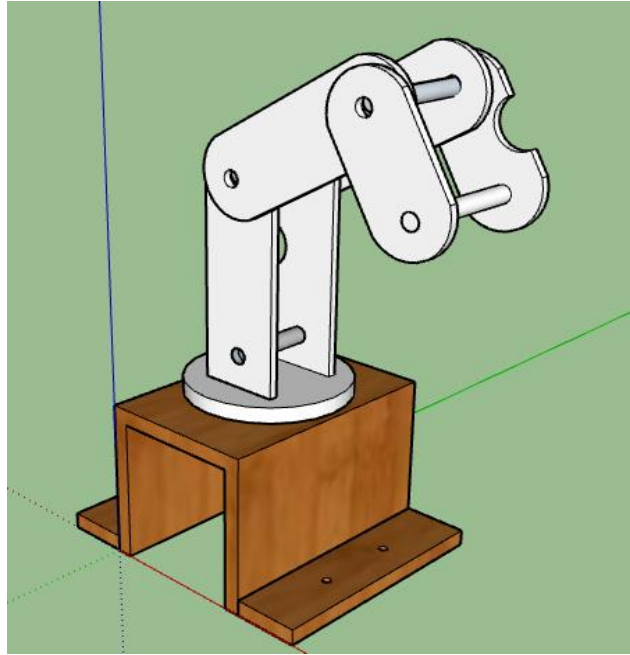


Figura 22. Robot Articulado 3GL  
Fuente: Elaborado por Autores

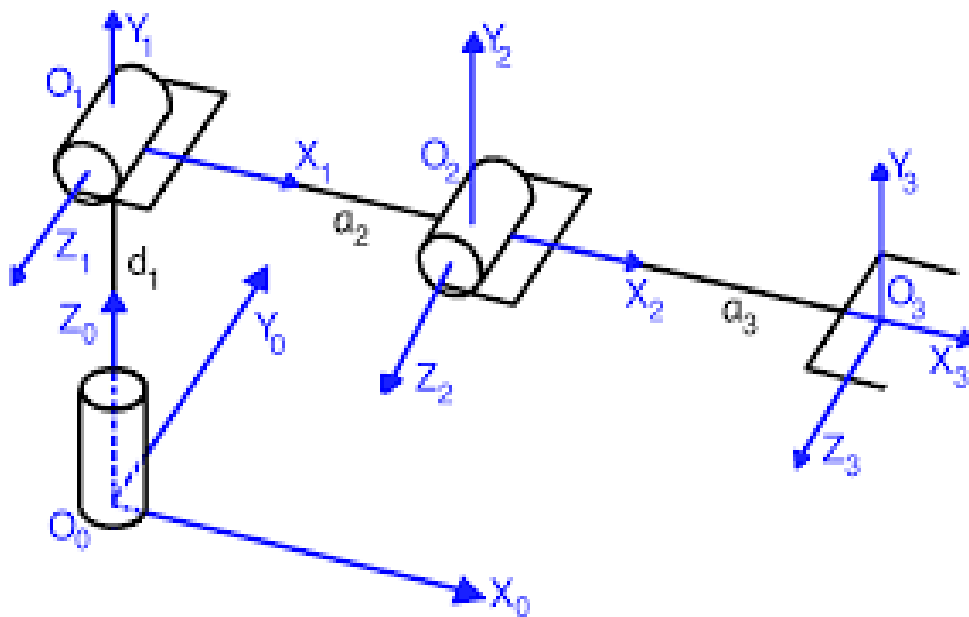


Figura 23. Aplicando Denavit Hartenberg  
Fuente: Elaborada por los Autores

Tabla 5. Parámetros Denavit - Hartenberg

Eslabón	$\theta$	$d$	$a$	$\alpha$
1	$q_1$	$d_1$	0	0
2	$q_2$	0	$a_2$	90

3	q3	0	a3	0
---	----	---	----	---

Fuente: Elaborado por los autores

Datos reales del prototipo

Q1=270      Q2=90      Q3=180

Estos son los ángulos de giros que tomara el robot en la parte de la base, hombro y codo

D1=15

Es la distancia de la parte de la base hacia la parte del hombro

A2=20      A3=15

Esta la distancia de las articulaciones rotacionales a2 es la parte del hombro al codo, a3 la parte del codo al brazo

Tabla 6. Parámetros reales que tendrá el prototipo en su espacio de trabajo

Eslabón	$\theta$	d	a	$\alpha$
1	270	15	0	0
2	90	0	20	90
3	180	0	15	0

Fuente: Elaborado por los autores

Para reemplazar todo estos parámetros se utilizara la Ec. 11

$${}^{i-1}_A = T(z, d)T(z, \theta)T(x, a)T(x, \alpha).$$

$$T_{(z, \theta z)} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{(x, \alpha)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{(x,a)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \alpha_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad T_{(z,d)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Se puede observar 4 matrices: La primera matriz es de rotación, segunda de translación, tercera de translación, cuarta de rotación realizando las multiplicaciones de ellas obtenemos la matriz general la cual se empleara para hallar la cinemática directa con D-H

Matriz general:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \sin\theta_i & \sin\alpha_i \sin\theta_i & \alpha_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i \cos\theta_i & -\sin\alpha_i \cos\theta_i & \alpha_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Luego de obtener los datos de D-H se utilizara la  $A_i$  general, cada matriz de transformación tiene sus 4 parámetros establecidos de acuerdo al diseño del prototipo, cada matriz están planteados por el sistema de coordenadas de los parámetros de la articulación:

#### 3.4.1.1 Primera Articulación

Se realizara los cálculos reemplazando los valores que se encuentra en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros Denavit-Hartenberg primera articulación

Eslabón	$\theta$	d	a	$\alpha$
1	270	15	0	0

Fuente: Elaborado por los autores

En la primera articulación que estas ubicada en la base de la estructura se definió como ángulo ( $\theta$ ) de giro 270 grados para el óptimo desplazamiento en su área de trabajo, así también tenemos una distancia (d) de la articulación de la basa hacia el hombro la cual mide 150 mm medida

real de la estructura del prototipo como esta articulación de la base es rotacional, gira en su propio eje sus variables  $a$ ,  $\alpha$  equivalen a cero

$${}^{i-1}_{A_1} = \begin{bmatrix} \cos 270 & -\sin 0 \sin 270 & \sin 0 \sin 270 & 0 \\ \sin 270 & \cos 0 \cos 270 & -\sin 0 \sin 270 & 0 \\ 0 & \sin 0 & \cos 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}_{A_1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin 0 & \cos 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de la primera articulación

#### 3.4.1.2 Segunda Articulación

Se realizara los cálculos reemplazando los valores que se encuentra en la tabla 8.

Tabla 8. Parámetros Denavit - Hartenberg segunda articulación

Eslabón	$\theta$	d	a	$\alpha$
2	90	0	20	90

Fuente: Elaborado por los autores

En la segunda articulación que inicia de la parte del hombro se defino como ángulo ( $\theta$ ) de giro 90 grados para su optimo desplazamiento, luego aplicando los pasos de Denavit Hartenberg, distancia (d) entre el hombro hacia el codo es de 200 mm medida real de la estructura del prototipo, para hallar en ( $\alpha$ ) la translación realiza un giro de 90 grados.

$${}^{i-1}_{A_2} = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 \sin 90 & \sin 90 \sin 90 & 20 \cos 90 \\ \sin 90 & \cos 90 \cos 90 & -\sin 90 \sin 90 & 20 \sin 90 \\ 0 & \sin 90 & \cos 90 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}_2 A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 20 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de la segunda articulación

### 3.4.1.3 Tercera Articulación

Se realizara los cálculos reemplazando los valores que se encuentra en la tabla 9.

Tabla 9. Parámetros Denavit - Hartenberg Tercera Articulación

Eslabón	$\theta$	d	a	$\alpha$
3	180	0	15	0

Fuente: Elaborado por los autores

En la tercera articulación que inicia de la parte del codo se defino como ángulo ( $\theta$ ) de giro 180 grados para su optimo alcance en su desplazamiento según aplicando los pasos de Denavit Hartenberg, distancia (d) entre de codo hacia brazo es de 150 mm medida real de la estructura del prototipo.

$${}^{i-1}_3 A = \begin{bmatrix} \cos 180 & -\sin 0 \sin 180 & \sin 0 \sin 180 & 15 \cos 180 \\ \sin 180 & \cos 0 \cos 180 & -\sin 0 \sin 180 & 15 \sin 180 \\ 0 & \sin 0 & \cos 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^{i-1}_3 A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & -15 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriz de la Tercera articulación



### 3.4.2 Condiciones Iniciales de la Base

Al realizar el diseño de la base se utilizó como material liviano y rígido una plancha de 1/20 mm de espesor que tiene como dimensiones 100mm x 100mm x 150mm lo cual la base esta acoplada en la parte superior una arandela plana de material de PVC de 35 mm de diámetro 10mm de altura y para más detalles se observa en el anexo 1. Se diseñó con estas medidas para poder soportar el peso de las articulaciones y motores que son 3kg, también para su espacio definido del prototipo como se observa en la figura 24.

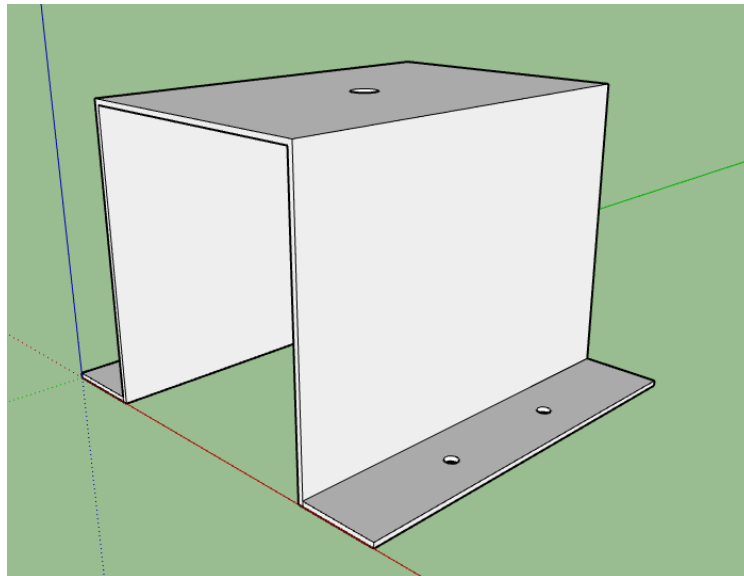


Figura 24. Estructura de la base del robot  
Fuente: Elaborado por autores

### 3.4.3 Condiciones iniciales parte del cuerpo

Al realizar el diseño del cuerpo se utilizó como material liviano y rígido una plancha de 1/20 de espesor que tiene como dimensiones 100mm x 50 mm x 150mm. El espacio 60mm de plancha a plancha se definió por el tamaño del motor que estará acoplado para la articulación del hombro en la cual la parte inferior esta soldada con el espacio indicado y la parte superior esta con una varilla roscada de 50mm diámetro, de largo 110mm con

arandelas y tuercas y más detalles de la estructura en el anexo 2. Se diseñó con el mismo material que la base para que tenga rigidez al momento de realizar una trayectoria como se aprecia en la figura 25.

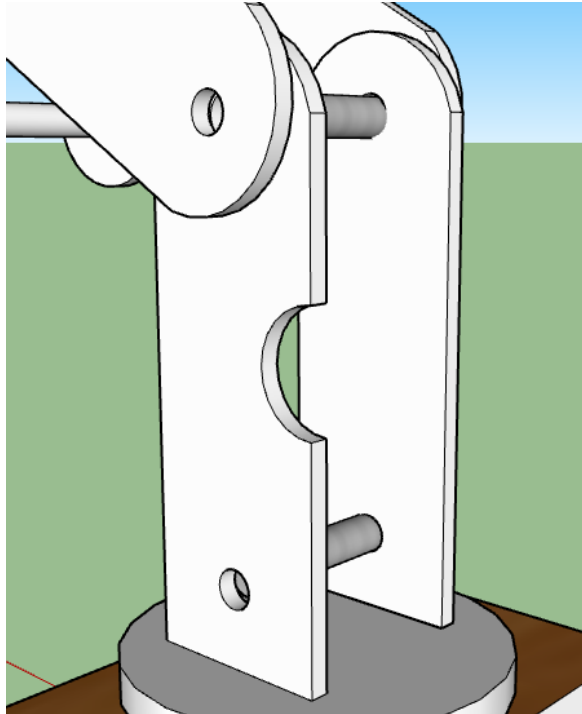


Figura 25. Estructura del cuerpo del robot  
Fuente: Elaborado por autores

#### **3.4.4 Condiciones iniciales de parte de estructura de hombro y codo**

Al realizar el diseño de la articulación se utilizó como material PVC liviano una plancha de 5mm de espesor que tiene como dimensiones 100mm x 50 mm x 200mm. El espacio 60mm de plancha a plancha se definió por el tamaño del motor que estará acoplado para la articulación del codo en la parte inferior y superior esta con el espacio indicado con una varilla roscada de 50mm diámetro, de largo 110mm con arandelas y tuercas y se en la figura 26. Se diseñó con el mismo material liviano de PVC para que tenga mayor facilidad al ejercer un movimiento y para más detalles en el anexo 3.

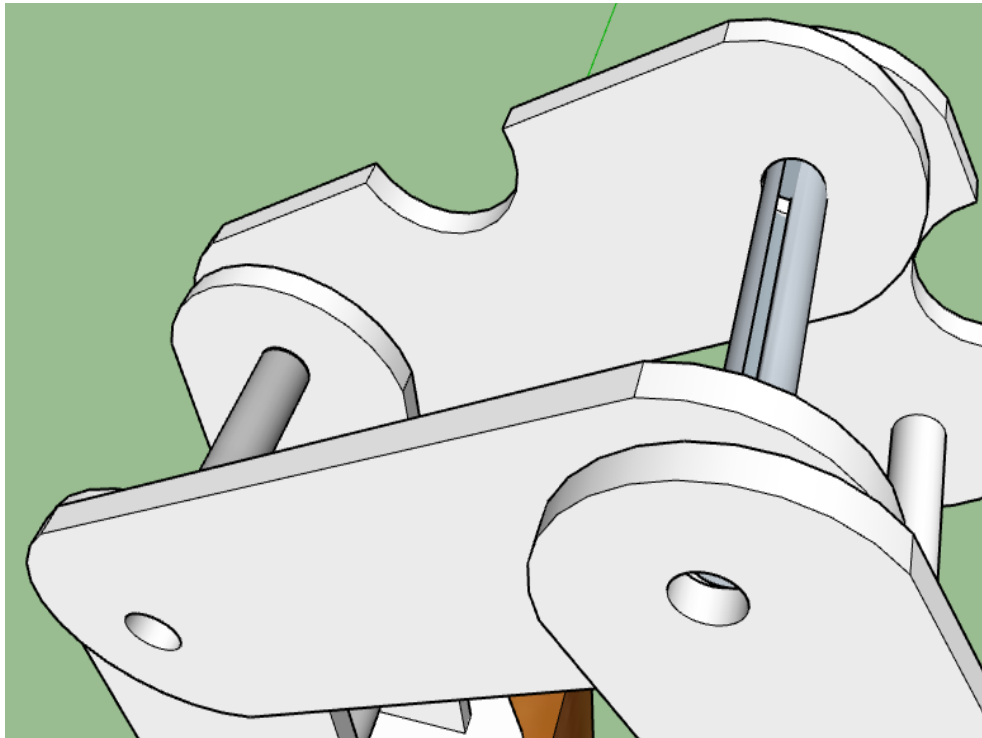


Figura 26. Estructura del hombro y codo del robot  
Fuente: Elaborado por autores

#### **3.4.5 Condiciones iniciales de parte de estructura de brazo**

Al realizar el diseño de la parte del brazo se utilizó como material PVC liviano una plancha de 5mm de espesor que tiene como dimensiones 100mm x 50 mm x 200mm. El espacio 60mm de plancha a plancha se definió por el tamaño del motor que estará acoplado para la articulación del codo en la parte inferior y superior esta con el espacio indicado con una varilla roscada de 50mm diámetro, de largo 110mm con arandelas y tuercas, acoplado en la parte superior un gripper fijo similar a un expansivo con puntilla roscada y para más detalles de la estructura se aprecia en el anexo 4. Se diseñó con el mismo material liviano de PVC para que tenga mayor facilidad al ejercer un movimiento, el gripper para realizar trabajos de soldadura, corte, etc. Así como se observa el prototipo en la figura 27.

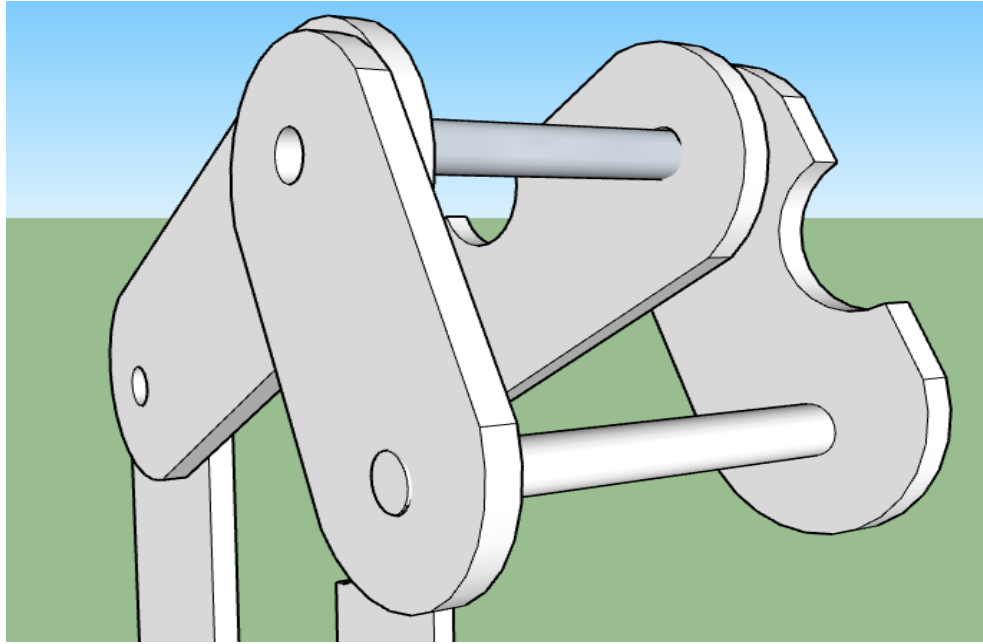


Figura 27. Estructura del Brazo del Robot  
Fuente: Elaborado por autores

### 3.5 Diseño Electrónico

La tecnología va avanzando y los productos necesitan capacidades de procesamiento de alta velocidad como los teléfonos inteligentes que requieren de un microprocesador, pero para el robot articulado la mejor solución sería un microcontrolador y un claro ejemplo sería un Arduino. En general el microcontrolador es como ordenador construido en un circuito integrado que contiene un pequeño procesador, memoria y periféricos. Por lo tanto, se cree conveniente utilizar el microcontrolador ATmega328P que se ajusta a las necesidades del robot móvil para el control de los drivers que estos a su vez mandara la señal a los motores Dc para realizar los movimientos según el programa. Es así que en los siguientes puntos se detallara las elecciones de los dispositivos electrónicos para el correcto funcionamiento del robot articulado.

### 3.5.1 Selección del microcontrolador

Para la selección del microcontrolador se utilizara el Arduino Uno que tiene 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas analógicas, frecuencia de oscilador de 16 MHz, alimentado con un voltaje nominal de 3 a 5.5v DC y para más detalles se observara en la tabla 10. El Arduino Uno tiene todo lo necesario para manejar el controlador puesto que cada entrada y salida puede soportar hasta 40mA. En la figura 28 se observa al Arduino Uno como es físicamente.



Figura 28. Instalación Arduino Uno  
Fuente: Elaborado por los Autores

Tabla 10. Características Arduino Uno

Características	Arduino Uno
Velocidad de Reloj	Hasta 16MHz
Líneas de Entrada/Salida Digital	14
Voltaje de Operación	5V
Memoria SRAM	2K
Memoria EEPROM	1K
Entradas Analógicas	6
Chip USB	ATmega16U2
Memoria Flash	32K

Fuente: Datasheet NaylampMechatronics

### 3.5.2 Selección del Driver

A la hora de elegir el motor se debe tener en cuenta 2 cosas para la selección del driver adecuado que son: escoger el motor con par suficiente para la aplicación que se vaya a realizar y que el driver pueda aportar la suficiente corriente para que el motor ejerza la fuerza y velocidad necesaria para el robot articulado. Además para la elección del driver debería brindar

12 voltios a cada articulación y que los voltajes sean aprovechados al máximo por las mismas, sin reducción por algún componente externo, de esa manera se determinó que el driver realice la función de control de trayectorias del robot, entre los drivers buscados se optó por elegir el L298N el cual es un módulo posee un voltaje mínimo de alimentación de 5v y además tiene 2 entradas de 5v para controlar la parte lógica y otra para alimentar las salidas al motor que puede ser de 5v a más. En la tabla 11 se tendrá las especificaciones técnicas del driver y se observara en la figura 29 como es físicamente.

Tabla 11. Especificaciones Técnicas L298N

Chip	L298N
Canales	2 (soporta 2 motores DC o 1 motor PAP)
Voltaje Lógico	5V
Voltaje de potencia	5V – 35V <u>Dc</u>
Consumo de Corriente	0 a 36mA
Capacidad de Corriente	2ª (picos hasta 3A)
Potencia Máxima	25W
Dimensiones	43 x 43 x 27 mm

Fuente: Datasheet STMicroelectronics



Figura 29. Instalación Modulo del Driver Puente H L298N

Fuente: Elaborado por los Autores

### 3.5.3 Selección de Acelerómetro

Para la elección del sensor acelerómetro se escogerá el compatible con el microcontrolador puesto que estos podrán realizar una medida de

vibración o aceleración ya que estos proporcionarían una señal eléctrica según la posición en la que se encuentren. El sensor del acelerómetro se fijaría en la tercera articulación del robot articulado y se empezaría a mover manualmente el robot y colocar en diferentes posiciones para anotar todos los parámetros y llevarlos a una base de datos donde empezaría a comparar todas las `posiciones y así poder generar el movimiento del robot. En la figura 30 se observaría como es el sensor físicamente.

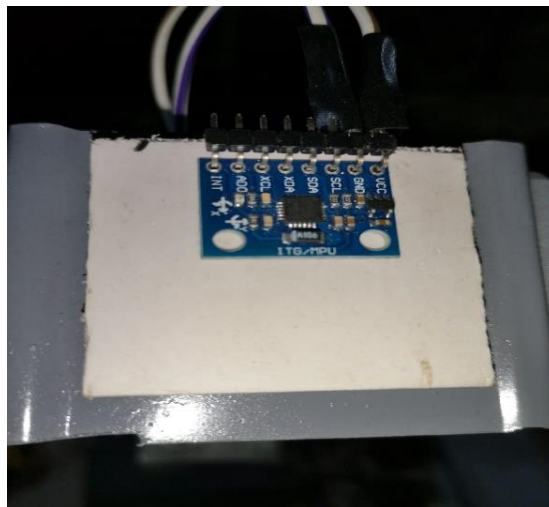


Figura 30. Instalación Sensor Acelerómetro  
Fuente: Elaborado por los autores

### 3.6 Diseño Eléctrico

Para poder realizar los movimientos de las articulaciones del robot se requiere un motor rotacional ya que van a ser acoplados en la estructura de cada parte del robot para realizar los movimientos necesarios, además es necesario controlar el ángulo de rotación para poder visualizar las posiciones de cada articulación.

#### 3.6.1 Selección del motor para la base

El momento torsión y torque del motor en la base, se calcula aplicando la ecuación 27.

$$t_2 = A_y \times d$$

$$t_2 = 19\text{N} \times 0.50\text{ m}$$

$$t_2 = 9.50\text{ Nm}$$

Para calcular la velocidad requerida en la base, se usa la ecuación

24

$$\text{RPM}_2 = \frac{\text{Velocidad}}{\text{avance}}$$

$$\text{RPM}_2 = \frac{0.2\text{ m/s}}{0.002\text{ m/rev}}$$

$$\text{RPM}_2 = 100$$

Al aplicar la ecuación 25 se calcula la potencia del motor requerido por la base

$$\text{HP}_2 = \frac{\text{RPM} \times t}{63,000}$$

$$\text{HP}_2 = \frac{100 \times 9.50}{63,000}$$

$$\text{HP}_2 = 0.015$$

$$0.015 \times 746\text{W} = 12\text{W}$$

La potencia requerida del motor en la base es de 12 W.

Obtenida la potencia y el torque y la velocidad del motor en la base buscamos según el catálogo de BRICOGEEK Y nos da un motor de modelo Polulo DCM-0022

### 3.6.2 Selección del motor para el cuerpo

El momento torsión y torque del motor en el cuerpo para mover las articulaciones, se calcula al usar la ecuación 27.

$$t_1 = A_{y1} \times d_1$$



$$t1 = 15N \times 0.15 \text{ m}$$

$$t1 = 2.25 \text{ Nm}$$

Para calcular la velocidad requerida en el cuerpo, se usa la ecuación

21

$$\text{RPM1} = \frac{\text{Velocidad}}{\text{avance}}$$

$$\text{RPM1} = \frac{0.2 \text{ m/s}}{0.002 \text{ m/rev}}$$

$$\text{RPM1} = 100$$

Para calcular la potencia del motor del eslabón 1, se aplica la ecuación 22

$$\text{HP1} = \frac{\text{RPM} \times t}{63,000}$$

$$\text{HP1} = \frac{100 \times 2.25}{63,000}$$

$$\text{HP1} = 3.57 \times 10^{-3}$$

$$3.57 \times 10^{-3} \times 746 \text{ W} = 2.66 \text{ W}$$

La potencia requerida del motor es de 5 W.

Obtenida la potencia y el torque y la velocidad del motor en la base buscamos según el catálogo de BRICOGEEK Y nos da un motor de modelo Motor Rs-775.

### 3.6.3 Selección del motor para el hombro y codo

El momento torsión y torque del motor para el movimiento del hombro y codo, se calcula aplicando la ecuación 27.

$$t2 = A_y \times d$$

$$t2 = 10N \times 0.20 \text{ m}$$

$$t_2 = 2 \text{ Nm}$$

Para calcular la velocidad requerida en el motor, se usa la ecuación

24

$$\text{RPM}_2 = \frac{\text{Velocidad}}{\text{avance}}$$

$$\text{RPM}_2 = \frac{0.2 \text{ m/s}}{0.002 \text{ m/rev}}$$

$$\text{RPM}_2 = 100$$

Al aplicar la ecuación 25 se calcula la potencia del motor requerido para el movimiento del hombro y codo

$$\text{HP}_2 = \frac{\text{RPM} \times t}{63,000}$$

$$\text{HP}_2 = \frac{100 \times 2}{63,000}$$

$$\text{HP}_2 = 3.17 \times 10^{-3}$$

$$3.17 \times 10^{-3} \times 746 \text{ W} = 2.36 \text{ W}$$

La potencia requerida del motor en la base es de 5 W.

Obtenida la potencia y el torque y la velocidad del motor en la base buscamos según el catálogo de BRICOGEEK Y nos da un motor de modelo Motor Rs-775.

### 3.6.4 Selección del motor para el brazo

El momento torsión y torque del motor para el brazo, se calcula aplicando la ecuación 27.

$$t_2 = A_y \times d$$

$$t_2 = 5 \text{ N} \times 0.15 \text{ m}$$

$$t_2 = 0.75 \text{ Nm}$$

Para calcular la velocidad requerida en el brazo, se usa la ecuación

24

$$\text{RPM2} = \frac{\text{Velocidad}}{\text{avance}}$$

$$\text{RPM2} = \frac{0.2 \text{ m/s}}{0.002 \text{ m/rev}}$$

$$\text{RPM2} = 100$$

Al aplicar la ecuación 25 se calcula la potencia del motor requerido para el brazo

$$\text{HP2} = \frac{\text{RPM} \times t}{63,000}$$

$$\text{HP2} = \frac{100 \times 0.75}{63,000}$$

$$\text{HP2} = 1.19 \times 10^{-3}$$

$$1.19 \times 10^{-3} \times 746 \text{ W} = 0.89 \text{ W}$$

La potencia requerida del motor en la base es de 5 W.

Obtenida la potencia y el torque y la velocidad del motor en la base buscamos según el catálogo de BRICOGEEK Y nos da un motor de modelo Motor Rs-775.

### 3.7 Diseño de Software

Para el desarrollo de los programas se analizó una serie de softwares que se estudió en toda la etapa universitaria, es por eso que se propuso utilizar dos softwares que son el MikroC y el Matlab los cuales ayudaran a realizar el control del robot, es por eso que se describirá cada programa en los siguientes puntos.

### 3.7.1 Programa Control de Motores

Para el control de motor se utilizará el software de MikroC que está especialmente diseñado para programar en los microcontroladores. Donde el programa a realizar controlará la base del robot creando giros de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , aparte en el sistema de hombro y codo iniciará con un ángulo de  $45^\circ$  y se desplazará a  $60^\circ$  según lo calculado en Denavit y Hartenberg y en el brazo tendrá un recorrido de  $60^\circ$ . Además, el MikroC contiene la información del arduino que ayudara a compilar y generar un archivo legible para el microcontrolador. Para más detalles del programa estará en el anexo 5 y en la figura 31 se observa una parte del programa.

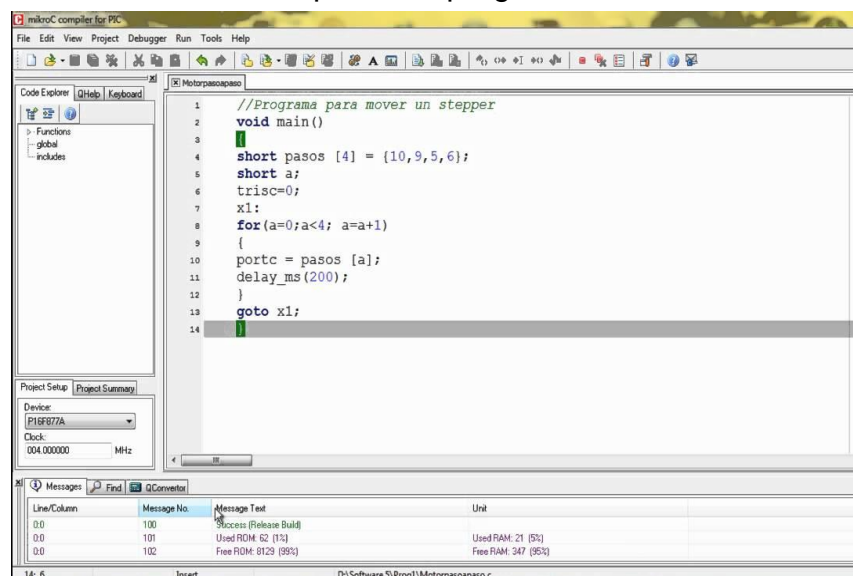


Figura 31. Programa MikroC de Control Motores

Fuente: Elaborada por los Autores

### 3.7.2 Programa para el control de trayectorias por medio de redes

#### Neuronales

Para la elaboración del programa en el control de trayectorias se utilizará el software Matlab que permitirá realizar cálculos numéricos con vectores y matrices para aplicar modelo cinemático con Denavit y Hartenberg las cuales ayudaran controlar al motor con su encoder como si fuera una

neurona y así lograr realizar los movimientos deseados ya sea rotacional o desplazamiento. Además el programa con redes neuronales tendrá la capacidad de aprender con cada movimiento realizado donde obtendrá ángulos según lo calculado en el modelamiento matemático así se lograra tener movimiento menos robotizados y más fluidos. Para más detalles del programa estará en el anexo 6 y en la figura 32 se observa una parte del programa.

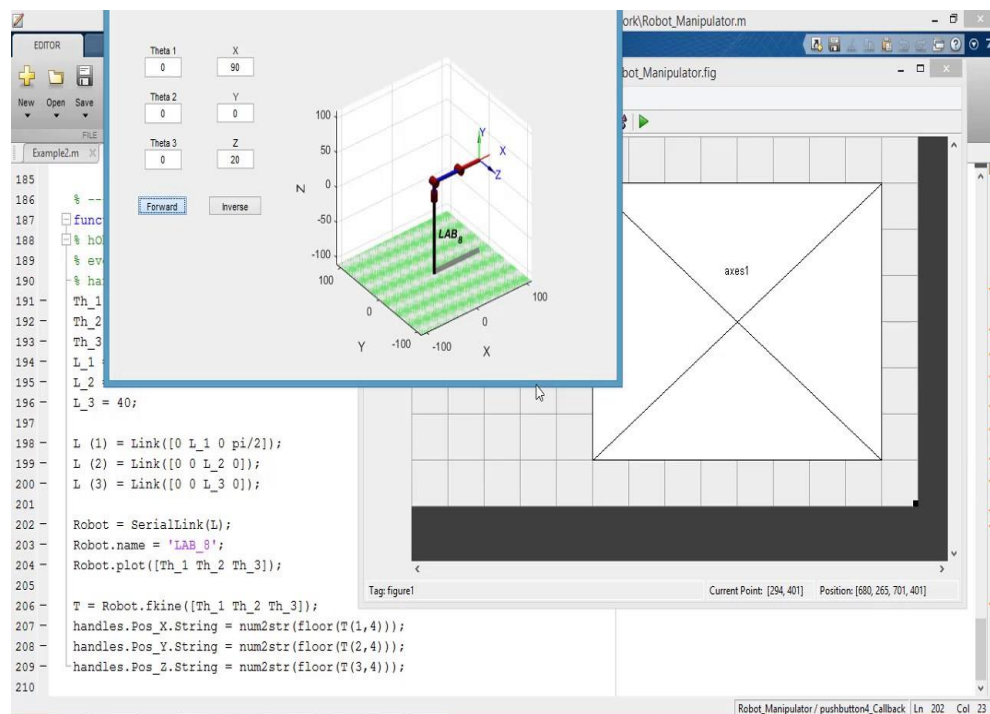


Figura 32. Programa Matlab Redes Neuronales

Fuente: Elaborada por los Autores

### 3.8 Costos y Presupuesto

En la tabla 12 se tiene todo los componentes que se han utilizado para realizar el prototipo del robot articulado con 3 grados de libertad y además se cuenta con los costos por precios unitarios.

Tabla 12. Costos y Presupuesto

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Total</b>
Motor DC Polulo	3	40	120
Arandelas ,Tornillos, etc.	1 Global	80	80
Acrílico	4	25	100
Arduino Uno	1	25	25
Fuente regulable 24v	1	100	100
Placa PBC	3	10	30
Grabador de PIC	1	20	20
Resistencia, condensador, etc	1 Global	100	100
Acelerómetro	6	2	12
Cable Apareado	8 mts.	8	64
Matlab Estudiante (licenciado)	1	1150	3450
Pc escritorio	1	1500	1500
		<b>Total</b>	<b>S/. 5601.00</b>

Fuente: Elaborado por los autores

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 Condiciones de Ensayo**

Para poder realizar en control de trayectorias del robot articulado utilizando redes neuronales, se utiliza el Arduino Uno conectado con la Pc como se muestra en la figura 33, con el fin de realizar la parte de control con los drivers para que no haya pérdida de potencia desplazando así las articulaciones con respecto al eje x, y, z además el robot cuenta con un acelerómetro que captando las posiciones en el espacio y así lograr los movimientos automáticos del robot. También la estructura está diseñado con materiales livianos para poder transportarlos a diferentes espacios de trabajo.



Figura 33. Prototipo Completo  
Fuente: Elaborado por los autores

## 4.2 Pruebas de Funcionamiento

### 4.2.1 Prueba de medición de voltaje del motor en la base

Para poder realizar las lecturas de mediciones de voltaje en la primera articulación del robot. Se energiza todo el sistema de control de potencia, se coloca el voltímetro en paralelo en la salida de alimentación del motor que está ubicado en una bornera azul del driver I298n, obteniendo así la variación del voltaje del robot al realizar una trayectoria como se observa en la figura 34.

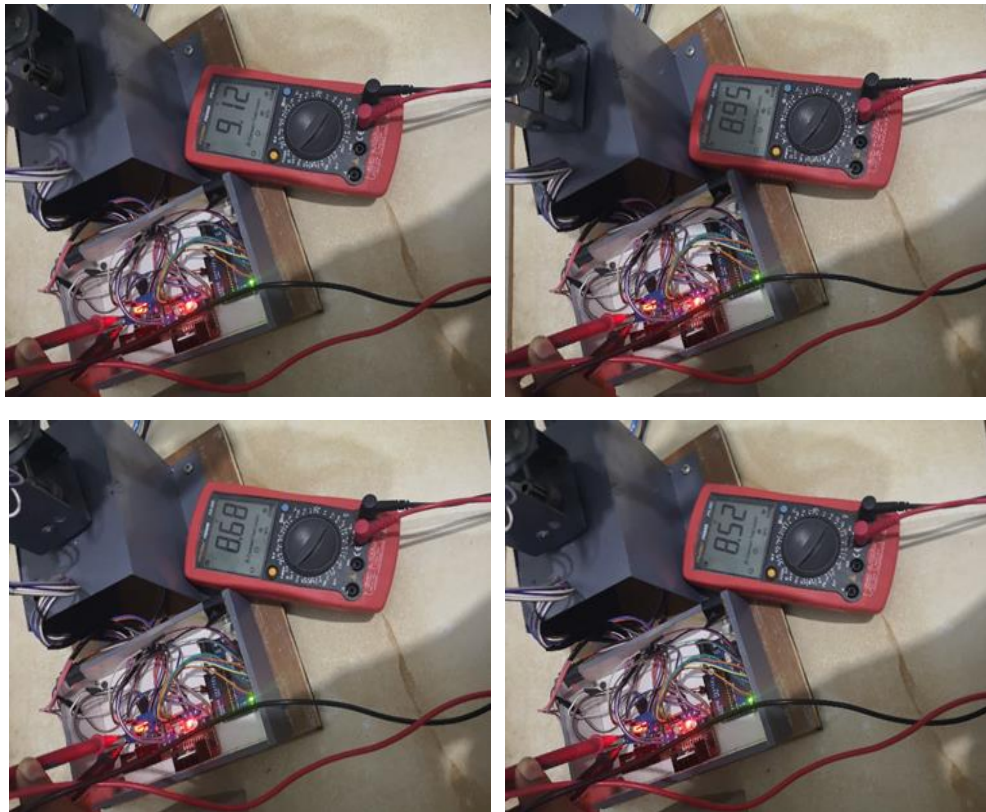


Figura 34. Prueba Tensión 1ra Articulación  
Fuente: Elaborado por los autores

En la siguiente tabla 13 se utilizó una batería 12 Vcc para las 10 pruebas de voltaje para ver cuánto es la variación la caída de tensión al momento que el motor ejerce un giro en la articulación, en el funcionamiento del desplazamiento del robot.



Los valores que obtenemos están cerca al eficaz con un pequeño margen de caída de tensión esto se debe también al peso de la estructura y la fuerza que ejerce al mover la articulación.

Tabla 13. Medición Voltaje 1er Motor

Lectura de voltaje Vcc		PRUEBAS DE MEDICIONES DE VOLTAJE DEL PRIMER MOTOR EN LA BASE (PRIMERA ARTICULACION)
Escala de 20 Vcc	Prueba 1	9.25
	Prueba 2	9.18
	Prueba 3	9.12
	Prueba 4	9.05
	Prueba 5	8.95
	Prueba 6	8.88
	Prueba 7	8.75
	Prueba 8	8.73
	Prueba 9	8.67
	Prueba 10	8.59

Fuente: Elaborado por los Autores

#### 4.2.2 Pruebas de mediciones de voltaje del segundo motor del codo

Para poder realizar las lecturas de mediciones de voltaje en la segunda articulación del robot. En la figura 35 se observa cómo se energiza todo el sistema de control de potencia, se coloca el voltímetro en paralelo en la salida de alimentación del motor que está ubicado en una bornera azul del driver I298n, obteniendo así la variación del voltaje del robot al realizar una trayectoria.



Figura 35. Prueba de Tensión 2da Articulación  
Fuente: Elaborado por autores

En la siguiente tabla 14 se utilizó una batería 12 Vcc para las 10 pruebas de voltaje para ver cuánto es la variación la caída de tensión al momento que el motor ejerce un giro en la articulación, en el funcionamiento del desplazamiento del robot.

Los valores que obtenemos tiene el margen de caída de tensión a un 50% del valor eficaz esto se debe a la alimentación que se la da al circuito de control de potencia, a las trayectorias repetitivas que realiza el robot, también al peso de la estructura la fuerza que ejerce al mover la articulación.

Tabla 14. Medición Voltaje 2do Motor

Lectura de voltaje Vcc		PRUEBAS DE MEDICIONES DE VOLTAJE DEL SEGUNDO MOTOR DEL CODO (SEGUNDA ARTICULACION)
Escala de 20 Vcc	Prueba 1	9.74
	Prueba 2	9.56
	Prueba 3	9.37
	Prueba 4	9.16
	Prueba 5	8.95
	Prueba 6	7.67
	Prueba 7	7.20
	Prueba 8	6.60
	Prueba 9	6.05
	Prueba 10	5.29

Fuente: Elaborado por los Autores

#### 4.2.3 Pruebas de medición de voltaje del tercer motor en el brazo

Para poder realizar las lecturas de mediciones de voltaje en la tercera articulación del robot. En la figura 36 se observa como se energiza todo el sistema de control de potencia, se coloca el voltímetro en paralelo en la salida de alimentación del motor que está ubicado en una bornera azul del driver I298n, obteniendo así la variación del voltaje del robot al realizar una trayectoria.

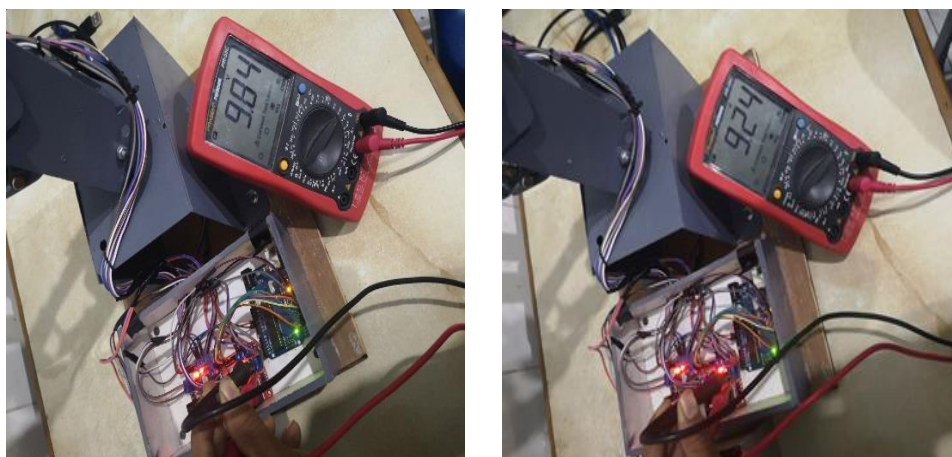


Figura 36. Prueba de Tensión 3ra Articulación

Fuente: Elaborado por autores

En la tabla 15 se utilizó una batería 12 Vcc para las 10 pruebas de voltaje para ver cuánto es la variación la caída de tensión al momento que el motor ejerce un giro en la articulación, en el funcionamiento del desplazamiento del robot.

Los valores que obtenemos tiene el margen de caída de tensión con más del 50% del valor eficaz esto se debe a la alimentación que le llegan a las dos primeras articulaciones en el circuito de control de potencia, a las trayectorias repetitivas que realiza el robot en un tiempo prolongado, también al peso de la estructura la fuerza que ejerce al mover la articulación.

Tabla 15. Medición de Voltaje 3er Motor

Lectura de voltaje : Vcc		PRUEBAS DE MEDICIONES DE VOLTAJE DEL TERCER MOTOR DEL BRAZO (TERCERA ARTICULACION)
Escala de 20 Vcc	Prueba 1	9.84
	Prueba 2	9.24
	Prueba 3	8.12
	Prueba 4	7.05
	Prueba 5	6.95
	Prueba 6	6.28
	Prueba 7	5.35
	Prueba 8	5.03
	Prueba 9	4.67
	Prueba 10	4.13

Fuente: Elaborado por los Autores

#### 4.2.4 Prueba de tiempo de desplazamiento y posicionamiento

Para poder establecer los tiempos de desplazamiento y posicionamiento en el robot se realizó un control de tiempo en el programa y para el posicionamiento se ejecutó a través de las redes neuronales con el software Matlab como se observa en la figura 37.

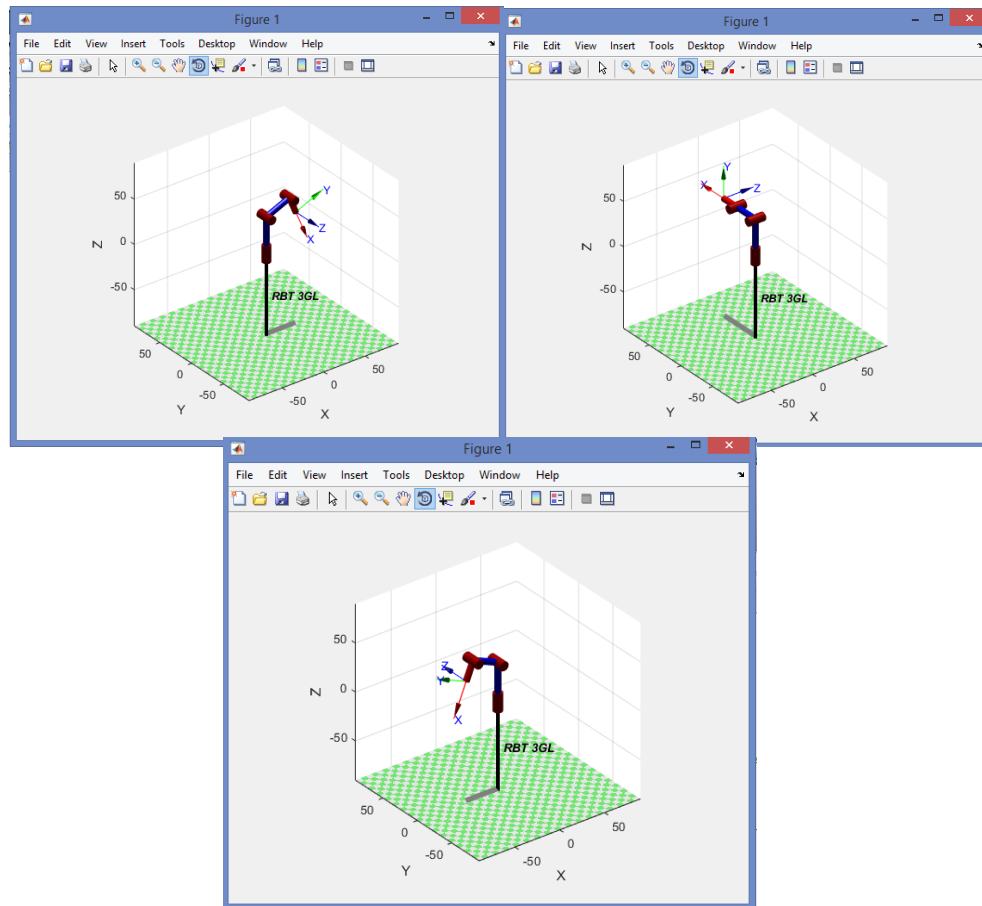


Figura 37. Pruebas Desplazamiento y Posicionamiento  
Fuente: Elaborado por los Autores

Para la pruebas se realizó 12 repeticiones para poder apreciar el error que se presenta en los movimientos como esta en la tabla 16 , donde se observa el tiempo que demora en realizar el movimiento de cada articulación para lograr desplazarse del punto A y punto B

Tabla 16. Pruebas Movimientos

Robot Articulado 3GL	Tiempos de Prueba (Segundos)											
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Inicio del Robot	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Primera Articulación	5.1	5.2	5.5	5.2	5.6	5	5.8	5.9	6.1	5.5	5.8	5.5
Segunda Articulación	4.2	4	4.1	4.4	4.6	4.2	4.5	4.1	4.5	4.3	4.4	4.6
Tercera Articulación	4.5	4.3	4.7	4.2	4.7	4.8	5	5.2	5.5	5	4.8	5.2
Punto Final del Robot	7.2	7.5	7.8	8.1	8.4	8.2	8.1	8.3	8.5	8.5	8.4	8.3

Fuente: Elaborado por los Autores

Además para el posicionamiento inicial se observa en que coordenada se encuentra cada articulación ya sea en ("x", "y", "z"), es por eso que se realizó pruebas de las posiciones que logra para llegar a su punto especificado, para más detalles de las pruebas se logra visualizar en la tabla 17.

Tabla 17. Posicionamiento respecto a sus Ejes

Posición	Coordenadas (cm)		
	X	Y	Z
P0	0	0	0
P1	0	4	0
P2	3	5	0
P3	3	4	2
P4	3	4	2
P5	3	5	0
P6	0	8	0

Fuente: Elaborada por los Autores

#### 4.2.5 Análisis de los resultados obtenidos

Después de haber realizado el funcionamiento del control de trayectorias del robot articulado con los tiempos determinados y las distancias dadas. Ahora se realizara un análisis de los resultados dados en cada comportamiento que haya realizado cada articulación ya sea en el eje x, y, z, es por eso que la figura 38 se observa el comportamiento de la articulación 1.

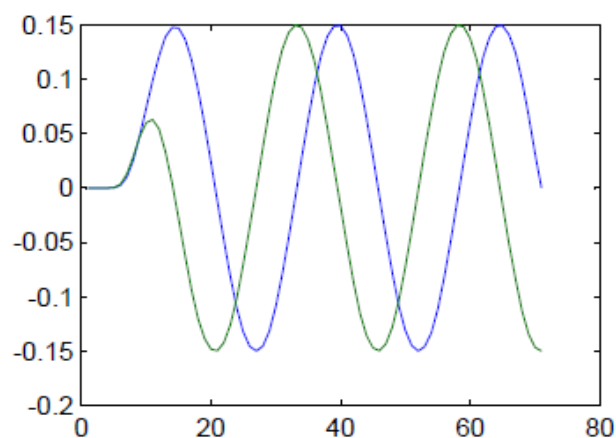


Figura 38. Comportamiento de la Articulación

Fuente: Elaborada por los Autores

En la figura 39 se muestra el comportamiento de la articulación 2 donde su rango de variación está oscilando de 0.15cm a 0.15cm donde este comportamiento es muy inestable en el movimiento.

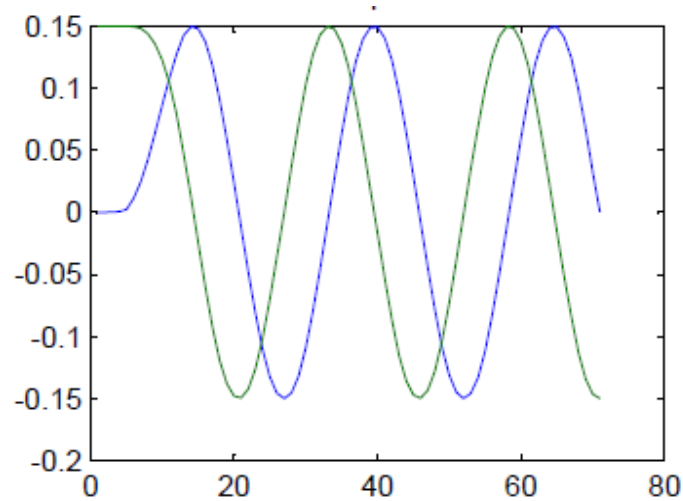


Figura 39. Comportamiento de la Articulación 2  
Fuente: Elaborada por los Autores

En la figura 40 se observa el comportamiento de la articulación 3 que está variando en un rango de 0.20cm a +20cm donde esto da entender que los movimientos que está realizando esta articulación intenta ser un poco más estable.

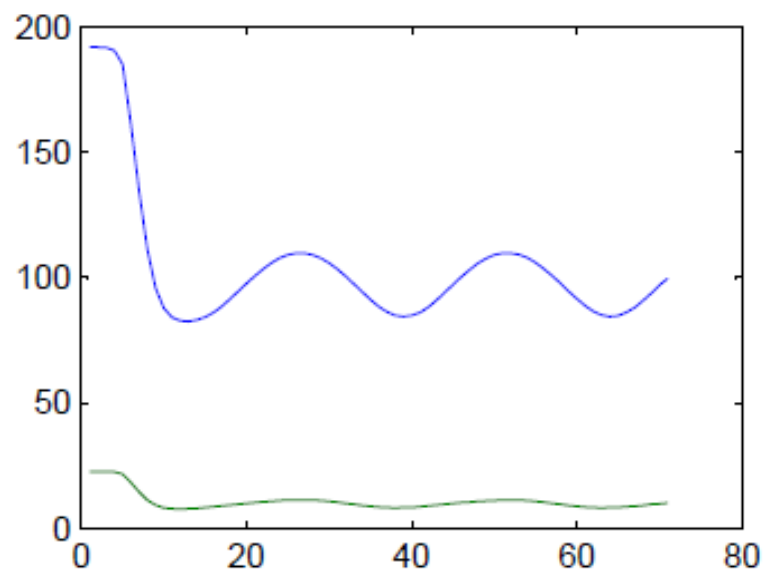
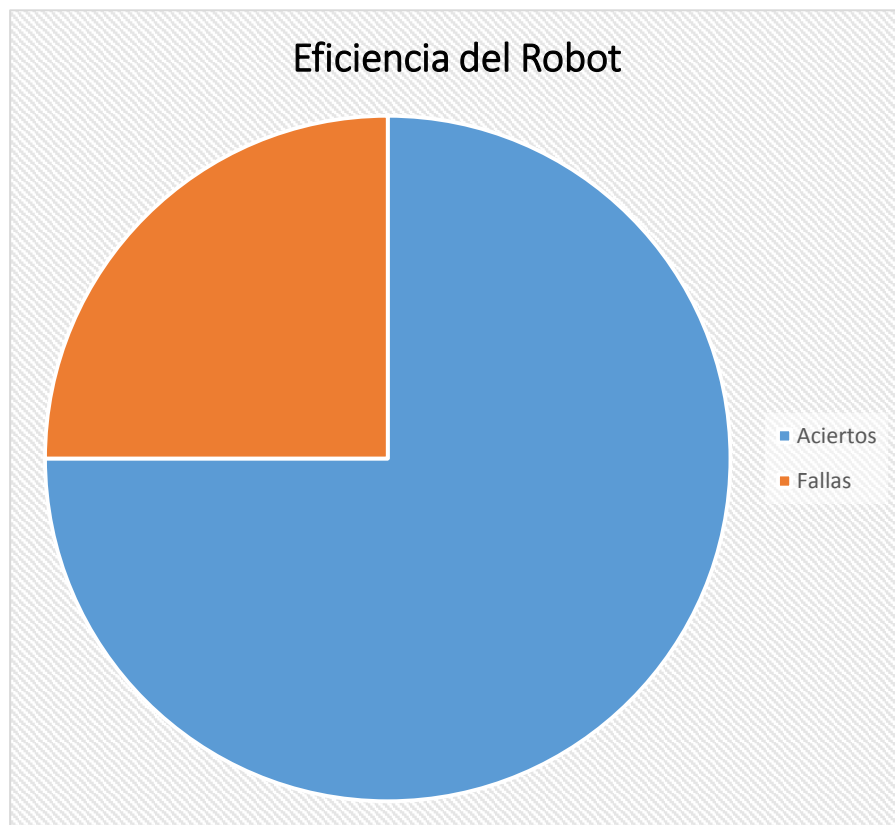


Figura 40. Comportamiento de la Articulación 3  
Fuente: Elaborada por los Autores

### 4.3 Eficiencia del sistema implementado

La eficiencia que ha logrado en el control de trayectorias del robot articulado es poder realizar los movimientos automáticamente y poder desplazarse de un punto A hacia un punto B sin ninguna dificultad pero hubo puntos donde se presentó fallas donde el robot perdía precisión y no lograba cumplir su meta y no podía llegar a su punto indicado es por eso que se hizo un diagrama donde se pudo ver los aciertos y fallas que realizo el robot. Para más detalles se observa en la figura 41.



*Figura 41. Tabla de Eficiencia del Robot*

Fuente: Elaborada por los Autores

Además se realizó un cuadro donde se puede apreciar la comparación con otros robots de cual es más eficiente en el campo laboral dependiendo de las funciones que pueden realizar, es por eso que en la figura 42 se puede apreciar la los valores adquiridos.



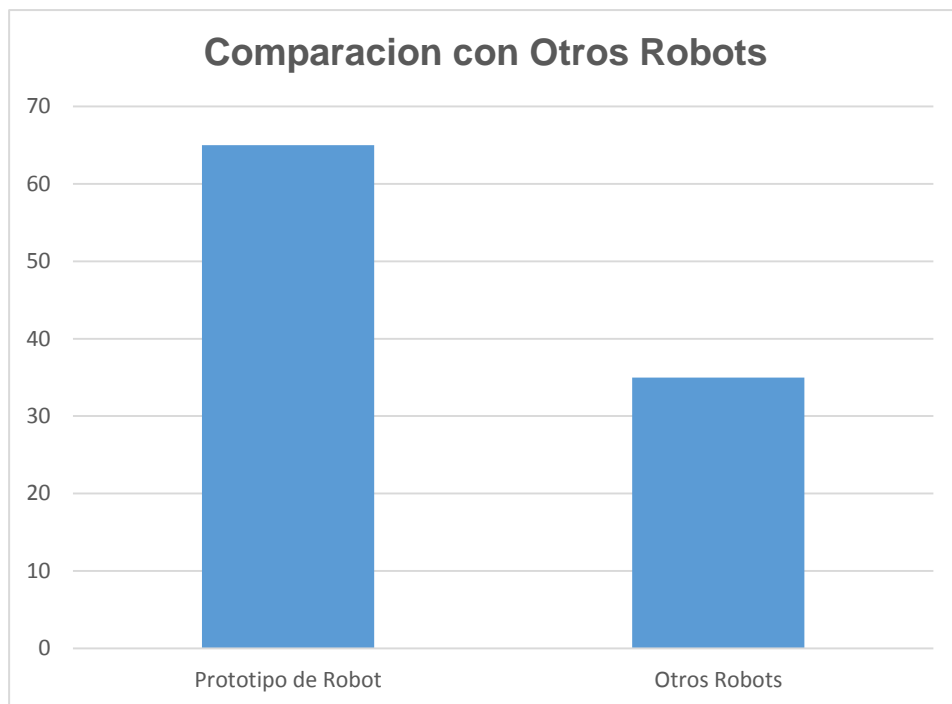


Figura 42. Tabla Comparación con otros Robots  
Fuente: Elaborada por los Autores

## **Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones**

1. Este trabajo de investigación nos permite hacer pruebas del diseño para así ir mejorando el prototipo sea en la parte mecánica y programable, se asemeja a la realidad solo en escala de un robot antropomorfo.
2. El prototipo, fue diseñado y ensamblando con piezas livianas para no esforzar los motor reductores y realice un eficaz movimiento en cada articulación
3. Se utilizó una tarjeta de arduino con dos controlador drivers, los cuales se realizarán un interfaz enlazado con Matlab para controlar cada trayectoria en el espacio del robot.
4. En estos últimos años la robótica se ha ido implementando en el área de producción así siendo programado un robot para ejecutar diferentes tareas como la soldadura, pintura, etc. Esto como consecuencia ha traído el costo de personal capacitado para dichas tareas, siendo así la demanda de los robots.
5. Este trabajo de investigación nos permite hacer pruebas del diseño para así ir mejorando el prototipo sea en la parte mecánica y programable, se asemeja a la realidad solo en escala de un robot antropomorfo.
6. El prototipo, fue diseñado y ensamblando con piezas livianas para no esforzar los motor reductores y realice un eficaz movimiento en cada articulación.
7. Se utilizó una tarjeta de Arduino con dos controladores de drivers, los cuales se realizaran un interfaz enlazado con Matlab para controlar cada trayectoria en el espacio del robot.

8. En estos últimos años la robótica se ha ido implementando en el área de producción así siendo programado un robot para ejecutar diferentes tareas como la soldadura, pintura, etc. Esto como consecuencia ha traído el costo de personal capacitado para dichas tareas, siendo así la demanda de los robots.
9. Usando Peter corke el toolbox de Matlab aplicando Cinemática directa como base de la programación agregando los comandos se denomina las coordenadas de trayectoria en el espacio.
10. Al realizar la investigación sobre este trabajo se usaron los programas Sketch up y el lenguaje c++ ya que son accesible en descargarlos y poseen de librerías como gran aporte al ejecutarlos.
11. Aplicando cinemática directa nos brinda los parámetros generales del robot antropomórfico lo cual uno va denominando parámetros en el programa (toolbox) el giro y la distancia. La cinemática inversa aplicando jacobiano nos brinda los datos de eslabón por eslabón y la sumatoria de las tres matrices resultantes nos da la general, de acuerdo al gripper podemos darle posición y giro en el espacio.

## **Recomendaciones**

1. Para que los motores en cada articulación tenga una mayor fuerza se necesita hacer un circuito de potencia para aumentar su amperaje.
2. Tener en cuenta de acuerdo al trabajo que pueda realizar el robot en un espacio determinado la consistencia del material en la elaboración, para así no perjudicar en la producción y se optimice en las tareas que se desempeñe.
3. Se debería crear programa de simulación de control de robots en escala, tiempo real de manera accesible y entendible para cada persona así tener una noción de cómo se desempeña en la industria así también simulando cuanto de consumo de corriente al realizar una tarea o la potencia que necesita.
4. Para que los motores en cada articulación tengan una mayor fuerza se necesita hacer un circuito de potencia para aumentar su amperaje.
5. Tener en cuenta de acuerdo al trabajo que pueda realizar el robot en un espacio determinado la consistencia del material en la elaboración, para así no perjudicar en la producción y se optimice en las tareas que se desempeñe.
6. Se debería crear programa de simulación de control de robots en escala, tiempo real de manera accesible y entendible para cada persona. Así tener una noción de cómo se desempeña en la industria así también simulando cuanto de consumo de corriente al realizar una tarea o la potencia que necesita.
7. Para mejorar el margen de caída de tensión que tiene el robot en cada articulación se le debe acoplar junto al driver I298n un (circuito de polarización del transistor en emisor común) así tendrá un porcentaje mínimo de caída de tensión, podrá realizar trayectorias repetitivas en tiempos prolongados.

8. Se recomienda proporcionarle un espacio de trabajo adecuado, preventivo mantenimiento por los factores climáticos no solo en el diseño mecánico sino también al realizar el diseño electrónico, dado que el sistema está expuesto a la variación de dichos factores, con el fin de evitar sobrecalentamientos, deterioros de dispositivos y/o mecanismos.
9. Se sugiere que al momento de realizar la programación en Matlab usando el interfaz con redes neuronales se ejecute y almacene los datos de cada movimiento o posición que le denomine al robot para que tenga un punto de secuencia que realizara para un determinado trabajo.
10. Se recomienda si va usar el prototipo para específicamente traslado de carga puede soportar hasta 5kg, así también acoplarse un gripper (pinza) con engranajes debido a la presión que ejerce el acarreo de carga, se debe añadir un sensor de proximidad (detector de objetos) para que el robot tenga una trayectoria adecuada al llegar al punto establecido.

## Bibliografía

- [1] Barrientos Cruz, Antonio (2007). *Fundamentos de la Robótica 2da Edición*. España: Editorial Concepción Fernández.
- [2] Berrio J., Arcos E. y Zuluaga J., (2015). *Diseño y Construcción de un Robot Cartesiano de 3 Grados de Libertad*, Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización, México.
- [3] Craig, John J. (2006). *Robótica*. México: Editorial Pearson Educación
- [4] Correa, Christian y Vásquez, Lorenzo (2012). *Algoritmo para la Planificación y Seguimiento de Trayectorias en Robot Agrícolas*, X Congreso Latinoamericano y el Caribe de Ingeniería Agrícola e XLI Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Londrina Brasil.
- [5] Domínguez Orellana, Javier (2015). *Planificación de Trayectorias con Optimización Multi- Objetivo considerando modelos realistas de aeronaves* (Tesis de Grado en Ingeniería Aeroespacial). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla España.
- [6] Fares Jawad, Abu Dakka (2011). *Trajectory Planning for Industrial Robots Using Genetic Algorithms* (Thesis Report Mechanical and Material Engineering). Universitat Politècnica de Valencia, Valencia España.
- [7] García, Adolfo, Figueras y López (2005). *Estrategias para la Planificación de Trayectorias con Arquitecturas Neuronales de Aprendizaje* (Tesis de Grado en Ingeniería de Telecomunicación). Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena Colombia.
- [8] Gestal, Marcos, Ramón, Juan, Pazos, Julián, Rivero, Daniel (2010). *Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética*. Universidad de Coruña, España.

- [9] González Regueral, Alejandro (2016). *Algoritmo de localización y mapeo simultaneo con un robot móvil utilizando ROS y Gazebo* (Tesis Grado de Ingeniero Electrónico). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla España.
- [10] Gutiérrez Suarez, Bryan Ciro (2012). *Diseño e implementación de un algoritmo de generación de trayectorias para la evasión de un obstáculo para un robot móvil* (Tesis Grado de Ingeniero Electrónico). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima Perú.
- [11] Hernández Beleño, Rubén Darío, Bernárdez Vítor, Giovanni, Vaqueiro Ferreira, Janito, Siquiera Meirelles, Pablo (2014). Planeación y seguimiento de trayectorias de un vehículo terrestre con base en el control de dirección en un ambiente real. *Scientia et Technica*, ISSN 0122-1701, Vol. 19, N°. 4, 2014, págs. 407-412
- [12] Lizcano, Ricardo, Puente, Juan, Valenzuela, Camilo (2005). *Control para un robot articulado con tres grados de libertad que simule el movimiento de pata* (Tesis Grado de Ingeniero Electrónico). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia.
- [13] Martín del Brío, Bonifacio, Sanz Molina, Alfredo (2006). *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos 3ra Edición*. España: RA-MA Editorial.
- [14] Maya, P. (2015). *Diseño y Control de un Brazo Robótica de 3 Grados de Libertad* (Tesis de Grado en Ingeniería Electrónica). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [15] Miranda Colorado, Roger (2016). *Cinemática y Dinámica de Robots Manipuladores*. México: Editorial Marcombo.

- [16] Ortiz Martínez, David (2016). *Robótica para Seguimiento de Líneas* (Tesis de Grado en Ingeniería Electrónica). Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya España.
- [17] Salazar Patín, Wilman (2015). *Diseño de una Interfaz de Usuario y Control Cinemático de un Brazo Robótico de 6 Grados de Libertad para la Planificación de Trayectorias en Software Matlab y Simulink* (Tesis de Grado en Ingeniería Electrónica). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil Ecuador.
- [18] Subir Kumar, Saha (2010). *Introducción a la Robótica*. México: Editorial Interamericana
- [19] Tejada Muñoz, Guillermo (2017). *Enrutamiento y secuenciación óptimos en un flexible Job Shop multiobjetivo mediante algoritmos genéticos* (Tesis Grado de Doctor en Ingeniería Industrial). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú.
- [20] Tibaduiza Burgos, Diego, Barrero Pérez, Jaime, Martínez Ángel, Roberto (2011). Planeamiento de caminos y trayectorias mediante algoritmos genéticos y campos de potencial para un robot móvil. *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, ISSN-e 2339-3483, ISSN 1692-1798, Vol. 8, Nº. 2, 2011, págs. 183-192
- [21] Vera Luzuriaga, John (2017). *Control de Trayectoria de Simulación de un Brazo de 5 Grados de Libertad, Controlado mediante la plataforma C2000 Piccolo LAUNCHXL – F28027F* (Tesis de Grado en Ingeniería Electrónica). Universitat Politècnica de Valencia, Valencia España.



- [22] Yandun Torres, Aracely Inés (2012). *Planeación y seguimiento de trayectorias para un robot móvil* (Tesis Grado de Ingeniero Electrónico y Control). Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador.

## **Anexo**

	págs.
Anexo 1. Glosario	81
Anexo 2. Ficha de Tarea de Investigación	82
Anexo 3. Plano de la base del Robot	85
Anexo 4. Plano del cuerpo del Robot	86
Anexo 5. Plano del Hombro y Codo del Robot	87
Anexo 6. Plano del Brazo del Robot	88
Anexo 7. Programa Control de Motor en Arduino	89
Anexo 8. Programa del Control de trayectorias con Redes Neuronales	93

## Anexo 1. Glosario

Término	Significado
Microcontrolador	Un microcontrolador ( $\mu$ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.
Lenguaje Assembler	El lenguaje ensamblador o assembler es un lenguaje de programación de bajo nivel. Consiste en un conjunto de mnemónicos que representan instrucciones básicas para los computadores, microprocesadores, microcontroladores y otros circuitos integrados programables.
CPU	Unidad central de procesamiento o unidad de procesamiento central
Disipador	Un disipador es un instrumento que se utiliza para bajar la temperatura de algunos componentes electrónicos. Su funcionamiento se basa en la ley cero de la termodinámica, transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire.
Jumper	En electrónica y en particular en informática, un jumper o saltador es un elemento que permite cerrar el circuito eléctrico del que forma parte dos conexiones.
Protoboard	Es un tablero con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre sí de manera interna, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado y prototipo de circuitos electrónicos y sistemas similares.

## Anexo 2. Ficha de Tarea de Investigación

### FICHA DE TAREA INVESTIGACIÓN

FACULTAD: FISE

CARRERA: MECATRONICA

#### 1. Título del trabajo de la tarea de investigación propuesta

Título:

Control de trayectorias de robot articulado utilizando algoritmos genéticos. **La ficha debería identificar alguna limitación, problema o posibilidad de mejora en alguno de los procesos señalados.**

#### 2. Indique el número de alumnos posibles a participar en este trabajo. (máximo 2)

Número de Alumnos: 2

#### 3. Indique si el trabajo tiene perspectivas de continuidad después que el alumno obtenga el Grado Académico para la titulación por la modalidad de tesis o no.

El trabajo tiene continuidad para la titulación por la modalidad de tesis.

#### 4. Enuncie 4 o 5 palabras claves que le permitan al alumno realizar la búsqueda de información para el Trabajo en Revistas Indizadas en WOS, SCOPUS, EBSCO, SciELO, etc desde el comienzo del curso y otras fuentes especializadas.

Ejemplo:

Palabras Claves	DOAJ	DOAR
Palabra 1:	robot	
Palabra 2:	path	
Palabra 3:	planning	
Palabra 4:	Genetic algorithm	
Palabra 5:		

#### 5. Como futuro asesor de investigación para titulación colocar:

*(Indique sus datos personales)*

- a. Nombre: Walter Castellanos Pantoja
- b. Código Docente c02109
- c. Correo c02109@UTP.EDU.PE
- d. Teléfono 947670470
- e. Otro: \_\_\_\_\_

**6. Especifique si el Trabajo de investigación:**

*(Marcar con un círculo la que corresponde, puede ser más de una)*

- a. Contribuye a un trabajo de investigación de una Maestría o un doctorado de algún profesor de la UTP,
- b. si está dirigido a resolver algún problema o necesidad propia de la organización,
- c. si forma parte de un contrato de servicio a terceros,
- ☒ d. corresponde a otro tipo de necesidad o causa (Explicar cuál)  
Corresponden a un trabajo de investigación de Ciencia y Tecnología

**7. Explique de forma clara y comprensible al alumno los objetivos o propósitos del trabajo de investigación.**

El trabajo de investigación consiste en encontrar alguna mejora en los procesos que son utilizados actualmente para el caso especificado.

**8. Brinde al alumno una primera estructuración de las acciones específicas que debe realizar para que le permita al alumno iniciar organizadamente su trabajo y satisfacer los cuatro logros del curso.**

- Definir el problema
- Definir los objetivos
- Justificar la investigación
- Determinar el alcance de la investigación
- Elaboración de un perfil de proyecto

**9. Incorpore todas las observaciones y recomendaciones que considere de utilidad al alumno y a los profesores del curso para poder desarrollar con éxito todas las actividades.**

En primer lugar, se debe determinar el estado de arte del problema, para lo cual es necesario revisar la literatura actual en los bancos de datos. Los artículos elegidos deben estar en inglés y con una antigüedad no mayor de 6 años.

**10. Fecha y docente que propone la tarea de investigación**

Fecha de elaboración de ficha: 20/07 /2018

Docente que propone la tarea de investigación: Ms. Sc. Walter Castellanos Pantoja

**11. Esta Ficha de Tarea de Investigación ha sido aprobada por:**

*(Sólo para ser llenada por la Dirección Académica)*

Nombre: \_\_\_\_\_

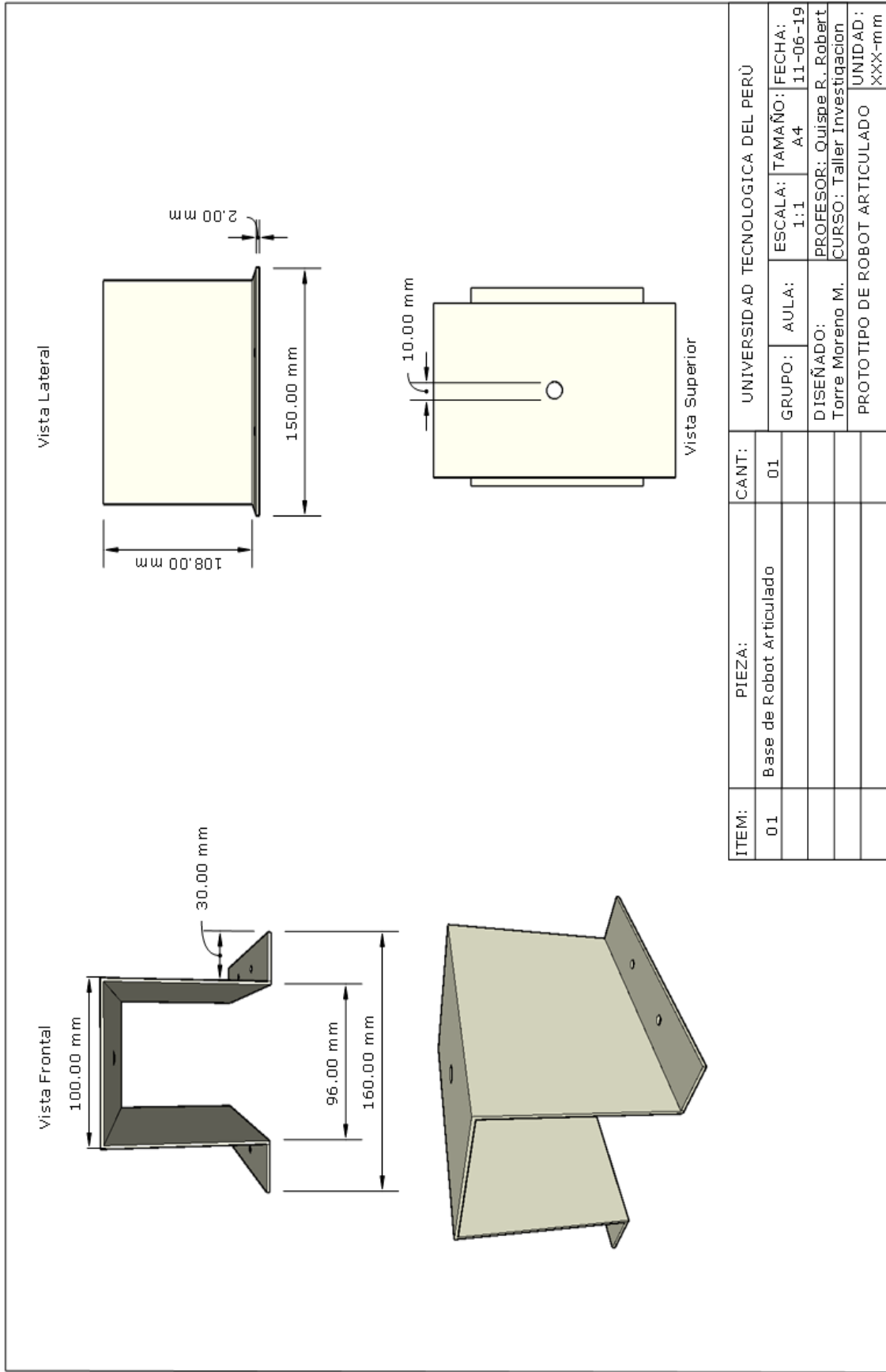
Código: \_\_\_\_\_

Documento de Identidad \_\_\_\_\_

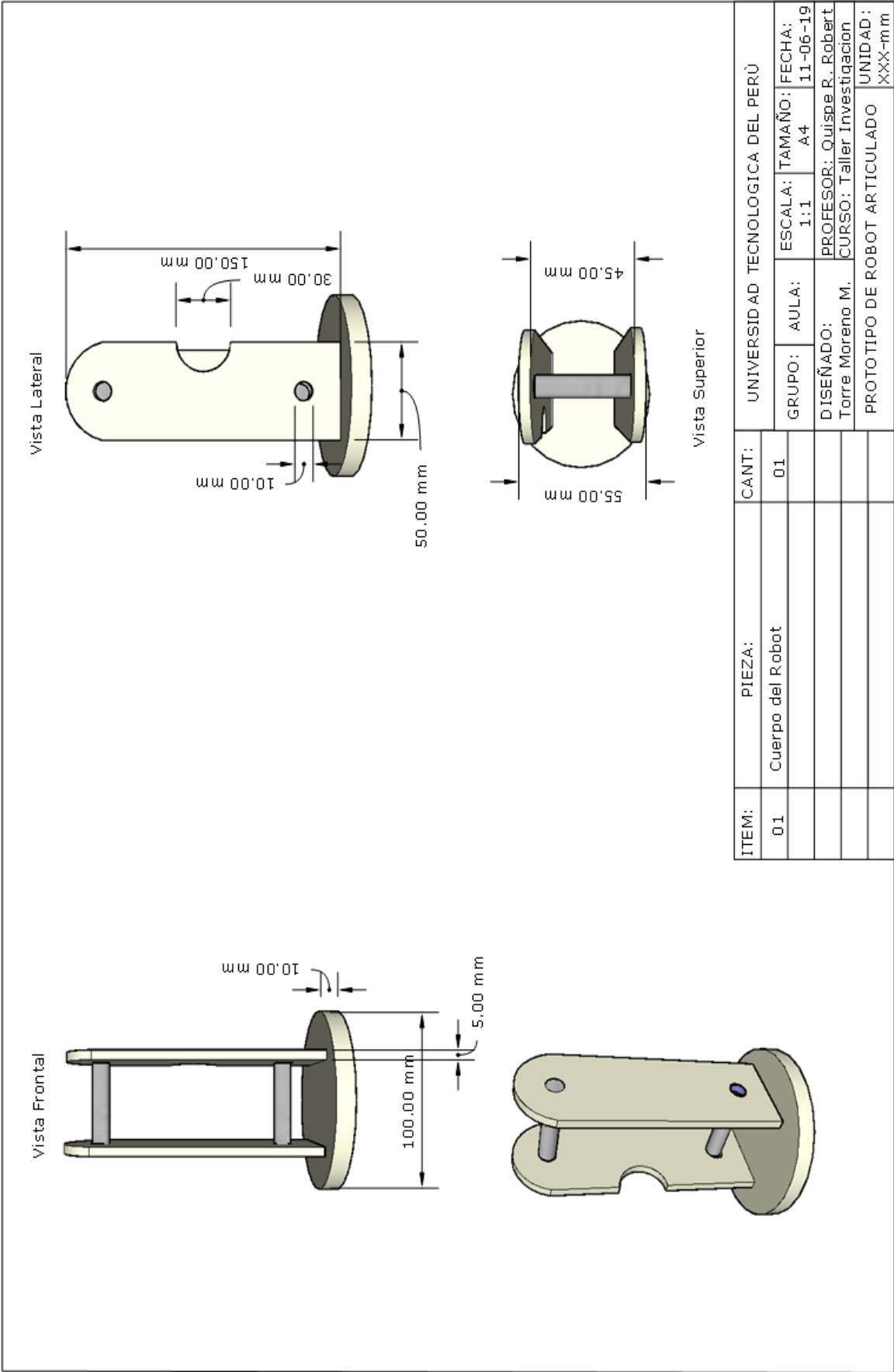
Fecha de aprobación de ficha \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Vo.Bo. FIME / FISE / Dirección de Investigación Lima

Anexo 3. Plano de la base del Robot

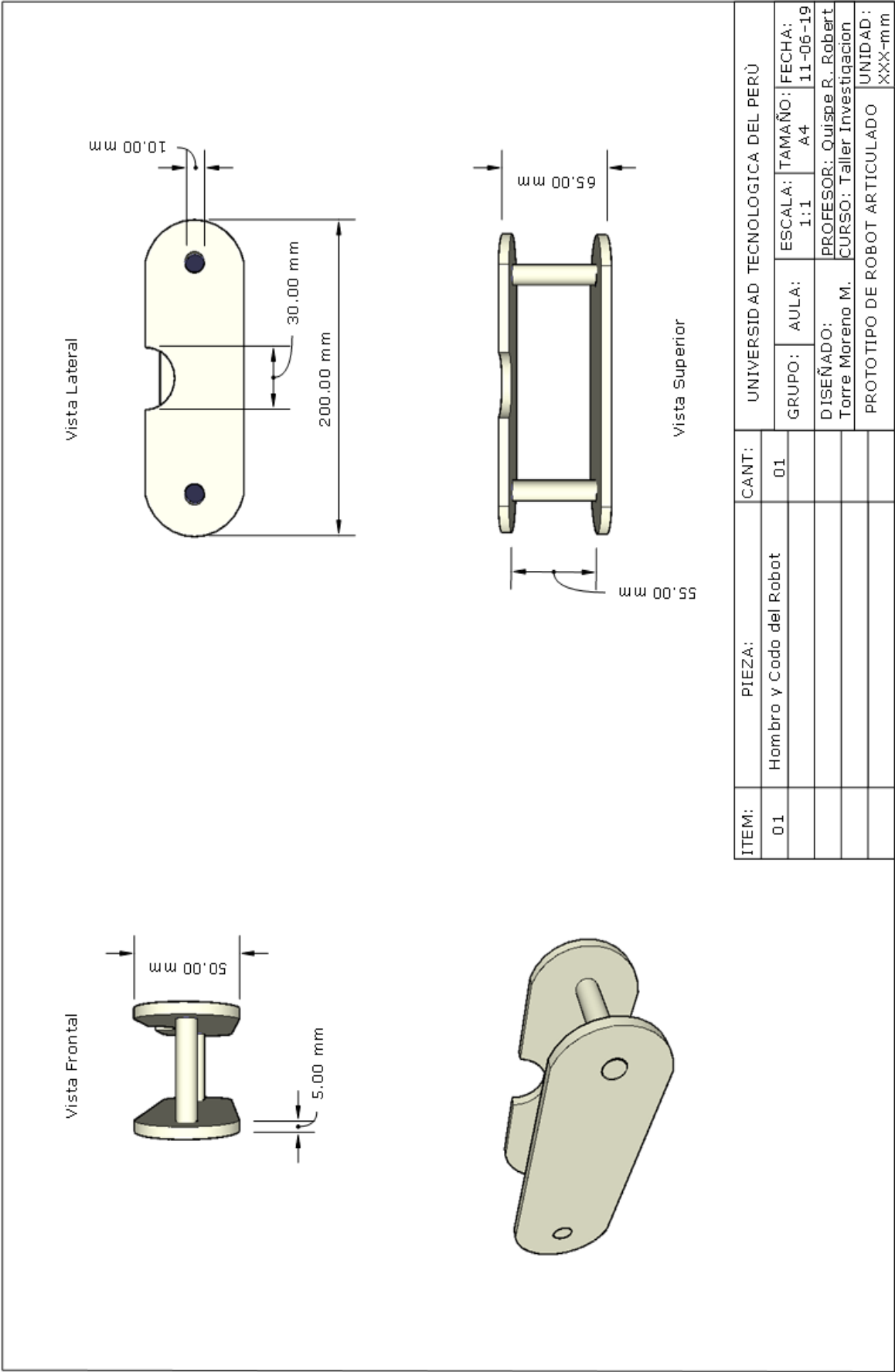


Anexo 4. Plano del cuerpo del Robot

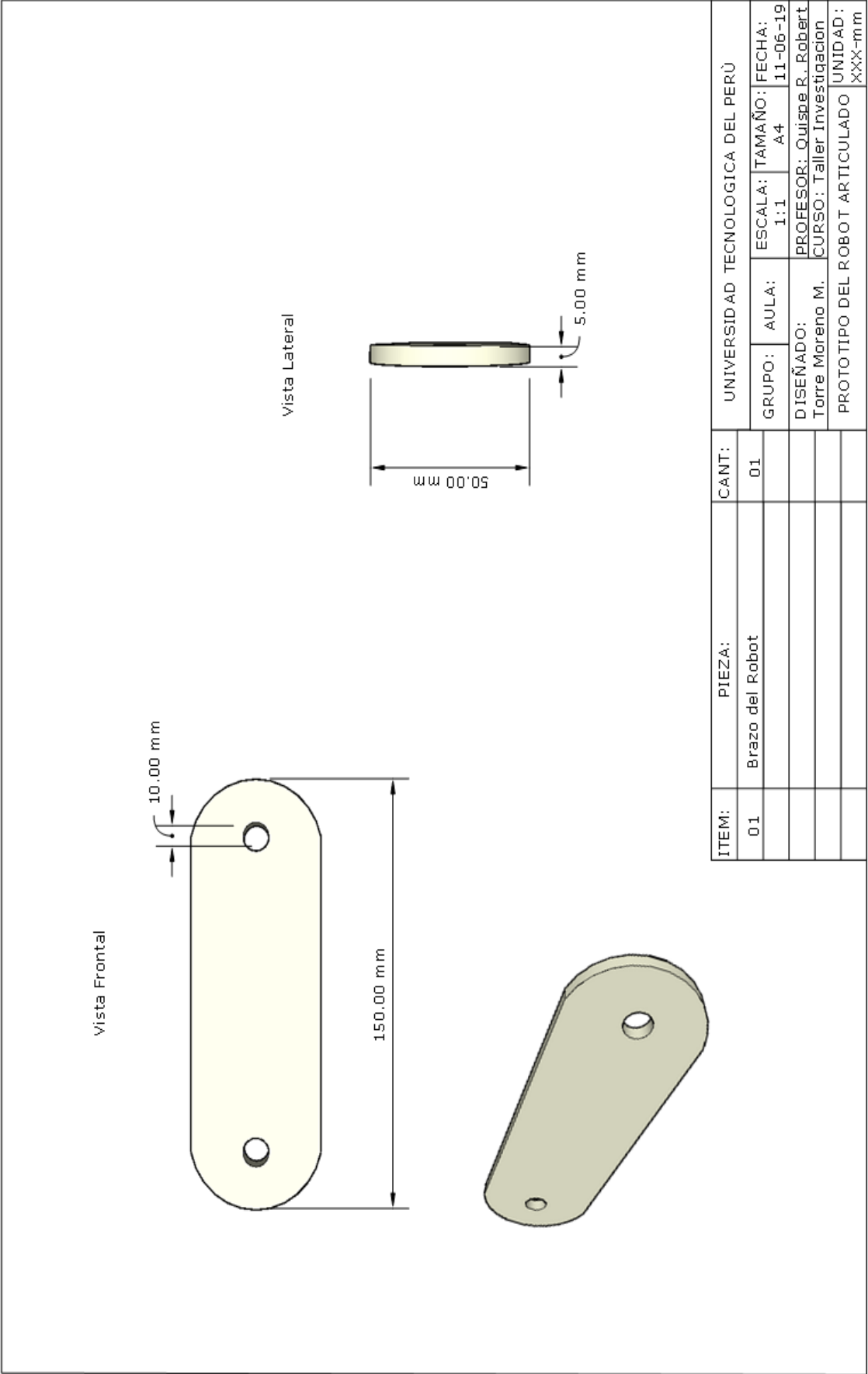




Anexo 5. Plano del Hombro y Codo del Robot



Anexo 6. Plano del Brazo del Robot



## Anexo 7. Programa Control de Motor en Arduino

```
#include <L298N.h>

//pin definition

#define ENA 3

#define MA1 4

#define MA2 5

#define ENB 6

#define MB1 7

#define MB2 8

#define ENC 9

#define MC1 10

#define MC2 11

//create a motor instance

L298N motorA(ENA, MA1, MA2);

L298N motorB(ENB, MB1, MB2);

L298N motorC(ENC, MC1, MC2);

//initial speed

unsigned short VEL = 255;

void setup() {}

void loop() {

  IZQ_C(); //motor base

  delay(1000);

  abajo_B(); //motor cuerpo

  delay(1000);

  abajo_A(); //motor codo

  delay(2000);

  arriba_A;

  delay(1000);

  arriba_B();

  delay(1000);
```

```

DER_C();
delay(1000);
}

void abajo_A() { // CON i<20 CONTROLAS LOS PASOS DEL MOTOR pulsos del motor
  for(int i=0; i<2; i++){
    //change the initial speed
    motorA.setSpeed(VEL);
    motorA.backward();//ABAJO
    //print the motor satus in the serial monitor
    Serial.print("Is moving = ");
    Serial.println(motorA.isMoving());
    delay(250);
    motorA.stop();
    delay(250);
  }
}

void arriba_A() { // CON i<20 CONTROLAS LOS PASOS DEL MOTOR
  for(int i=0; i<20; i++){
    //change the initial speed
    motorA.setSpeed(VEL);
    motorA.forward();//ABAJO
    //print the motor satus in the serial monitor
    Serial.print("Is moving = ");
    Serial.println(motorA.isMoving());
    delay(250);
    motorA.stop();
    delay(250);
  }
}

void abajo_B() {
  for(int i=0; i<2; i++){ // CON i<20 CONTROLAS LOS PASOS DEL MOTOR
    //change the initial speed

```

```

motorB.setSpeed(VEL);
motorB.forward();//ABAJO
//print the motor satus in the serial monitor
Serial.print("Is moving = ");
Serial.println(motorB.isMoving());
delay(250);
motorB.stop();
delay(250);
}}
void arriba_B() {
  for(int i=0; i<5; i++){// CON i<20 CONTROLAS LOS PASOS DEL MOTOR el tiempo
    //change the initial speed
    motorB.setSpeed(VEL);
    motorB.backward();//ABAJO
    //print the motor satus in the serial monitor
    Serial.print("Is moving = ");
    Serial.println(motorB.isMoving());
    delay(250);
    motorB.stop();
    delay(250);
  }}
void IZQ_C() {
  for(int i=0; i<10; i++){// CON i<20 CONTROLAS LOS PASOS DEL MOTOR
    //change the initial speed
    motorC.setSpeed(VEL);
    motorC.forward();//ABAJO
    //print the motor satus in the serial monitor
    Serial.print("Is moving = ");
    Serial.println(motorC.isMoving());
    delay(250);

```

```

motorC.stop();
delay(250);
}}
void DER_C() {
  for(int i=0; i<10; i++){// CON i<20 CONTROLAS LOS PASOS DEL MOTOR
    //change the initial speed
    motorC.setSpeed(VEL);
    motorC.backward();//ABAJO
    //print the motor satus in the serial monitor
    Serial.print("Is moving = ");
    Serial.println(motorC.isMoving());
    delay(250);
    motorC.stop();
    delay(250);
  }}

```

## Anexo 8. Programa del Control de trayectorias con Redes Neuronales

```
clc
clear all
close all

% D-H PARAMETROS USANDO PETER CORKE ROBOTIC TOOLBOX
% ROBOT 3GL

L1 = 40; L2 = 30; L3 = 20;

% Creando el Link usando elCodigo
% L = Link ([Th d a alph])

L(1) = Link([0 L1 0 pi/2]);
L(2) = Link([0 0 L2 0]);
L(3) = Link([0 0 L3 0]);

Rob = SerialLink (L)
Rob.name = 'RBT 3GL';

% q1 = 0 ; q2 = 0; q3 = 0;
% Rob.plot ([ q1, q2, q3 ])
%
% Rob.fkine ([ q1, q2, q3 ]) %con este comando se puede ver la matriz de
la transformada directa

% Otras Transformaciones
syms th1 th2 th3
Rob.fkine([ th1 th2 th3 ]) % dar enter y asi obtener la matriz general
%
%Codigo para hacer animacion
for th1=0:0.1:pi
for th2=0:0.2:pi/4
for th3=0:0.3:pi/8
    Rob.plot([ th1, th2, th3 ]);
end
end
end
```